भौतिकी

द्वितीय भाग

माध्यमिक स्कूलों के लिए विज्ञान

राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्

प्रस्तावना

भौतिकी, भाग-2 का प्रथम सस्करण सन् 1968 में प्रकाशित हुआ था। यह मुख्यतः रूस के विद्यालयो में व्यवहार की जाने वाली शिक्षण-सामग्रियों पर आधारित था, जहाँ माध्यमिक स्तर से ही विज्ञान का शिक्षण विभिन्न विषयों के रूप मे प्रारंभ हो जाता है। यह संस्करण पुराने संस्करण का पुनर्मुद्रित रूप मात्र है। इस पुनर्मुद्रण में अशुद्धियों के परिमार्जन एवं कतिपय चित्रों के संशोधन पर ध्यान दिया गया है।

इस क्रम की अन्य पुस्तको की भाँति इस पुस्तक में भी तथ्यों के स्मरण एवं धारण करने के बदले प्रत्ययात्मक अवबोधन एव तर्क पर अधिक बल दिया गया है। जिस पाठ्यक्रम के अनुसार यह पुस्तक लिखी गई है वह प्रयोग-प्रधान है। इस प्रकार शिक्षक एवं विद्यार्थियों द्वार किए गए प्रयोगों के माध्यम से ही विद्यार्थियो को ज्ञान अर्जित कराया जाता है।

इस पुस्तक की प्रथम पाठ्य-सामग्री डा० रामनिवास राय, श्रीमती नीलिमा मित्र, श्री छोटनसिंह, श्री हरचरण लाल शर्मा तथा यूनेस्को परामर्शदाता डा० ए० ब्रिउखानोव द्वारा तैयार की गई थी। इस पुनर्मुद्रित सस्करण के सुधारो का श्रेय श्री छोटनसिंह तथा यूनेस्को परामर्शदाता डा० ए० तामारिन को है। इसके लिए ये सब लोग तथा विज्ञान शिक्षा विभाग के भौतिकी-ग्रुप के अन्य सदस्य धन्यवाद एवं प्रशंसा के पात्र हैं।

पुस्तक से सबधित पाठकों की प्रतिक्रियाओं और सुझावों का हम स्वागत करेंगे।

एस० वी० सी० ऐया
निदेशक
रा० शै० अ० प्र० प०

नई दिल्ली
मई, 1970

विषय-सूची

अध्याय 1

यांत्रिक गति

§ 1. गति

अपने दैनिक जीवन में तुम अनेक प्रकार के आने-जाने के साधनों, जैसे बैलगाड़ी, साइकिल, बस, मोटरकार, रेलगाड़ी, नाव, वायुयान आदि से परिचित हो । इनमें से कुछ तेज़ चलते हैं और कुछ मंद । उदाहरण के लिए सड़क पर चलती हुई बैलगाड़ी को साइकिल सवार पीछे छोड़ देता है लेकिन दोनों के पीछे से आती हुई मोटरकार साइकिल सवार को भी पीछे छोड़कर आगे चली जाती है (चित्र 1.1) । इन आने-जाने के साधनों से तुम्हें गति का ज्ञान हो सकता है ।

जब हम किसी वस्तु की गति के विषय में कहते हैं तब हमारा आशय किसी दूसरी वस्तु की स्थिति से उस वस्तु की स्थिति के लगातार परिवर्तन की तुलना करना है । तुलना करने के लिए अधिकतर पृथ्वी और पृथ्वी की सतह पर स्थित पेड़, मकान आदि को स्थिर मानते हैं ।

जब हम कहते हैं कि सड़क पर कार चल रही है तब हम कार की स्थिति की तुलना सड़क और सड़क पर स्थित पेड़, मकान आदि से करते हैं, जिनकी अपेक्षा कार की स्थिति बदलती है ।

नदी के किनारों की अपेक्षा नदी का पानी अपनी स्थिति बदलता है और तब कहा जाता है कि पानी बह रहा है, यानी पानी गतिमान है । स्टेशन, रेल की पटरी और तार के खंभों आदि की तुलना में जब रेलगाड़ी की स्थिति में परिवर्तन होता है तब रेलगाड़ी गतिमान कही जाती है ।

मनुष्य का चलना, वायुयान और राकेटों का उड़ना, मशीनों के पुर्ज़ों का चलना आदि भी गति के उदाहरण हैं ।

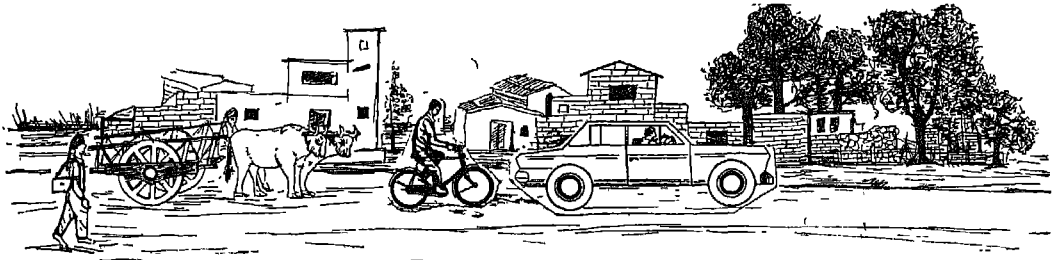
अन्य वस्तुओं की स्थिति की तुलना में **किसी वस्तु की स्थिति में लगातार परिवर्तन होना यांत्रिक गति कहलाता है** तथा इस अवधि में वस्तु जितनी दूरी तय कर लेती है उसे **विस्थापन** कहते हैं ।

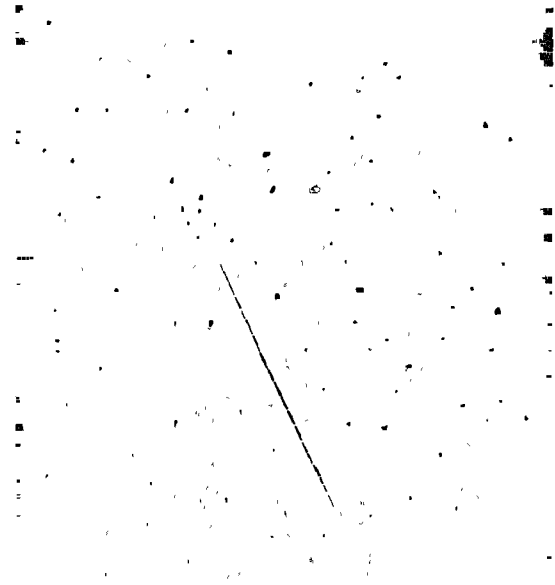
गतिमान वस्तु जिस मार्ग पर चलती है, उस मार्ग को उस वस्तु का **गमनपथ** कहते हैं ।

श्यामपट्ट पर चाक (खड़िया मिट्टी) से एक रेखाखंड खींचो । यह रेखाखंड चाक का गमन-पथ होगा (चित्र 1.2) ।

गमनपथ यदि सरल रेखा के रूप का है तो गति **सरल रेखीय गति** और यदि वक्र रेखा के रूप का है तो गति **वक्रीय गति** कहलाती है ।

आतिशबाज़ी के खेल, फुलझड़ी, अनार आदि तुमने जगमगाते देखे होंगे । रात के समय जब यह जलाए जाते हैं तब इनमें से जगमगाते हुए कण विभिन्न पथों पर चलते हैं । कुछ पथ सरल रेखा के रूप के होते हैं और कुछ वक्र रेखा के रूप के । यही पथ कणों के गमनपथ कहे जाते हैं ।

रात में उल्काएँ जब टूटती हैं तब उनका मार्ग दिखाई पड़ता है (चित्र 1.3) । यही मार्ग उल्काओं का गमनपथ होता है ।

चित्र 1.1 मनुष्य, बैलगाड़ी, साइकिल, मोटरकार, वायुयान आदि विभिन्न गति से गतिशील हैं।

चित्र 1.2 श्यामपट्ट पर चाक से खींचे गए गमनपथ दिखाए गए है।

चित्र 1.3 अंधेरी रात के समय टूटती हुई उल्का का गमनपथ।

§ 2. स्थानांतरीय और घूर्णन गति

साइकिल को चलते हुए तुमने देखा है। क्या तुमने इसकी गति के बारे में कुछ विचार किया है ? साइकिल के पहिए अपनी धुरी के चारों ओर घूमते हैं, परंतु साइकिल आगे चलती है। खराद करने की मशीन (चक्र यंत्र) का बर्मा, बढ़ई का बर्मा, पेंच खोलने का पेंचकश आदि घूमते हैं तथा

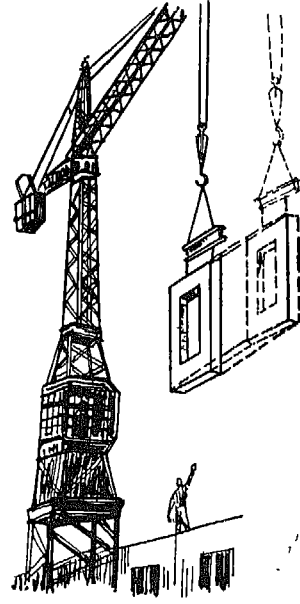
आगे भी बढ़ते हैं।

कुएँ से पानी खींचते समय घिरनी अपनी धुरी के गिर्द घूमती है परंतु बाल्टी ऊपर की ओर आती है। (चित्र 1.4 अ)।

उपर्युक्त उदाहरणों से स्पष्ट है कि गति दो प्रकार की होती है। एक तो वह जिसमें वस्तु आगे बढ़ती है, दूसरी वह जिसमें वस्तु किसी धुरी के गिर्द घूमती है। प्रथम प्रकार की गति को **स्थानांतरीय गति** और दूसरी को **घूर्णन गति** कहते हैं।

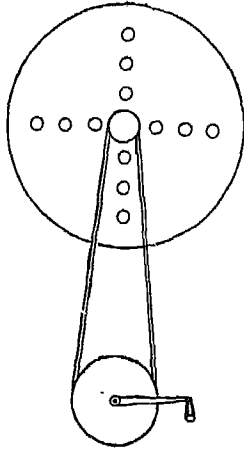
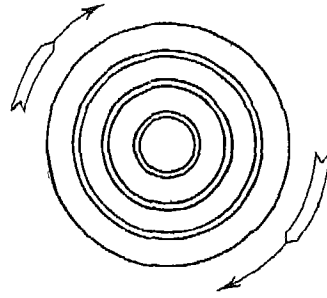
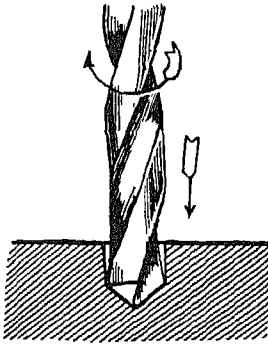
घिरनी अपनी धुरी के गिर्द घूमती है अतः घिरनी की गति घूर्णन गति और बाल्टी की गति ऊपर की ओर बढ़ती हुई होने के कारण स्थानांतरीय गति कहलाती है।

क्रेन के द्वारा उठाए गए बोझ की गति (चित्र 1.4 ब), मेज़ की दराज़ की गति, बोझ ढोने वाले पट्टे पर लादे गए बोझ की गति, स्थानांतरीय गति के अन्य उदाहरण हैं। क्रेन के द्वारा उठाए गए बोझ के प्रत्येक भाग के चलने की दिशा एक ही होती है। वे एक जैसे मार्ग का अनुसरण करते

चित्र 1.4 (अ) कुएँ से खीची जा रही बाल्टी की गति।

चित्र 1.4 (ब) क्रेन द्वारा उठाए गए बोझ की गति।

हैं और किसी भी अवधि में समान दूरी तय करते हैं। चित्र 1.4 (अ) में कुएँ से बाल्टी ऊपर आती हुई दिखाई गई है। बाल्टी का प्रत्येक भाग एक जैसे रास्ते पर चलता है तथा किसी अवधि में समान दूरी तय करता है।

इस प्रकार की बात क्रेन के द्वारा उठाए गए बोझ या बाल्टी की गति में ही नहीं, बल्कि उन सब वस्तुओं की गति में भी होती है जिनकी गति स्थानांतरीय गति होती है। जब किसी वस्तु के प्रत्येक भाग का गमनपथ एक-सा हो और किसी अवधि में समान दूरी तय होती हो तब वस्तु की गति स्थानांतरीय गति कहलाती है।

स्थानांतरीय गति के लिए यह आवश्यक नहीं है कि गमनपथ सरल रेखा के रूप का ही हो, यह टेढ़ा या वृत्ताकार भी हो सकता है। चित्र 1.2 में चाक (खड़िया मिट्टी) की गति वक्रीय गति है। बंदूक से छोड़ी गई गोली अथवा मोड़ पर साइकिल की गति स्थानांतरीय गति के वक्रीय रूप के उदाहरण हैं।

चित्र 1.5 (अ) लकड़ी या गत्ते की चकती के व्यास पर छोटे-छोटे छेद किए गए है।

(ब) जब चकती को तेजी से घुमाया जाता है तब तुम्हें विभिन्न अर्धव्यासों के कई वृत्त दिखाई देते है।

चित्र 1.6 पेंचकश को घुमाने पर उसमें स्थानांतरीय और घूर्णन गति होती है।

चित्र 1.7 कपड़ा सीने की मशीन के चलने वाले विभिन्न भाग—1—हत्था, 2—पहिया, 3—दंड, 4—सुई धारक। हत्था, पहिया और दंड की गति घूर्णन गति होती है तथा सुई धारक और सुई की गति स्थानांतरीय गति होती है।

स्थानांतरीय गति में किसी वस्तु के प्रत्येक भाग की गति एक-सी होती है। प्रत्येक भाग का गमनपथ एक-सा होता है। इसलिए समस्त वस्तु की स्थानांतरीय गति का अध्ययन केवल वस्तु के एक भाग की ही स्थानांतरीय गति के अध्ययन करने से हो जाता है।

कुएँ पर लगी घिरनी, घरों में आटा-दाल पीसने वाली चक्की, कुम्हार का चाक अपनी धुरियों के गिर्द घूमते हैं। इनकी गति घूर्णन गति कही जाती है। घूर्णन गति की विशेषता जानने के लिए एक प्रयोग करो।

लकड़ी या दफ्ती का एक चक्र लो। इसके व्यास पर विभिन्न दूरियों पर छोटे-छोटे गोल छेद अथवा बिन्दु अंकित करो जैसा कि चित्र 1.5 (अ)

में दिखाया गया है। फिर इस चक्र को तेजी से घुमाओ। घुमाने पर तुम्हें छोटे-छोटे गोल छेद नही दिखाई पड़ेंगे बल्कि विभिन्न अर्धव्यासों के वृत्ताकार पथ दिखाई पड़ेंगे जैसा कि चित्र 1.5 (ब) में दिखाया गया है।

इस प्रयोग से यह निष्कर्ष निकलता है कि किसी घूमती हुई वस्तु के सब भाग एक ही परिधि में नहीं घूमते वरन् अलग-अलग परिधियों में घूमते हैं। इन सब परिधियों का केन्द्र एक होता है। इस केन्द्र से धरातल के लंबवत् होकर जाने वाली सरल रेखा को घूर्णाक्ष कहते हैं।

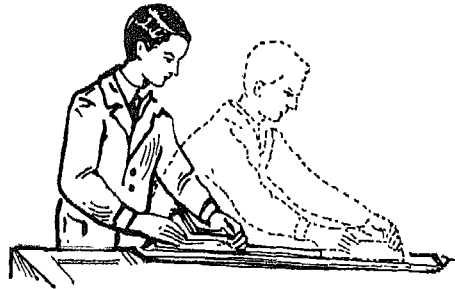
कुछ वस्तुओं की गति केवल स्थानांतरीय गति ही होती है और कुछ की केवल घूर्णन गति ही, परंतु कुछ में दोनों प्रकार की गतियाँ पाई जाती हैं।

पृथ्वी का अपनी कीली (काल्पनिक) के तथा सूर्य के चारों ओर घूमना, दोनों प्रकार की गतियों का उदाहरण है।

पेंचकश से जब पेंच खोलते हैं तब उसमें स्थानांतरीय गति भी होती है और घूर्णन गति भी (चित्र 1.6)।

कपड़ा सीने की मशीन में स्थानांतरीय और घूर्णन दोनों प्रकार की गतियाँ पाई जाती हैं (चित्र 1.7)।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. दो मोटरकारें एक सड़क पर समान गति से चल रही हैं तथा उनके बीच एक निश्चित दूरी रहती है। बताओ किस-किस वस्तु की तुलना में वे स्थिर हैं और किस-किस की तुलना में गतिशील हैं।
2. हाथ की घड़ी में घंटे और मिनट की सुइयों की गति किस-किस प्रकार की है? बताओ।
3. पृथ्वी पर गिरती हुई वस्तु और कमरे के रोशनदान के कपाटों की गति में क्या-क्या समानताएँ हैं? उत्तर की व्याख्या करो।
4. स्थानांतरीय गति और घूर्णन गति के ऐसे दो-दो उदाहरण दो जो इस पुस्तक में वर्णित न हों।
5. चारा काटने वाली मशीन में पहिए तथा चारे की गति किस-किस प्रकार की होती है? स्पष्ट विवेचना करो।
6. चित्र 1.8 में तख़्ते को चिकना करते समय रंदे की गति किस प्रकार की है? बताओ।

चित्र 1.8 लकड़ी के तख्ते को चिकनाते समय रंदे की गति।

7. अपने स्कूल की वर्कशाप में खराद करने की मशीन देखो और बताओ कि इसके किस भाग की गति कैसी है।
8. लट्टू तथा चकई (बच्चों के खेलने के खिलौने) की गति स्थानांतरीय अथवा घूर्णन गति में से किस प्रकार की है ? इनमें क्या-क्या समानताएँ हैं ? बताओ।

§ 3. समय की माप

समय का दैनिक जीवन में एक महत्त्वपूर्ण स्थान है। सब काम ठीक समय पर ही करने चाहिए। यदि समय का ध्यान न रखा जाए तो कक्षा में आने में देर हो सकती है, स्टेशन से गाड़ी छूट सकती है और दफ्तर का काम सुचारु रूप से नहीं चल सकता। मिलों और फैक्टरियों की कार्यप्रणाली का संतुलन बिगड़ सकता है। इसी कारण रेडियो द्वारा समय-समय पर समय के बारे में बताया जाता है कि इस समय दिन के इतने बजे हैं और इस समय रात के इतने बज कर इतने मिनट और इतने सेकंड हुए हैं।

समय की माप, किसी ऐसी क्रिया द्वारा की जा सकती है जो बार-बार घटित होने में एक निश्चित अवधि लेती है। यह अवधि समय की इकाई की तरह प्रयोग की जा सकती है। पृथ्वी का अपनी काल्पनिक धुरी पर घूमना एक ऐसी क्रिया है जो बार-बार घूमने में एक ही अवधि लेती है।

पृथ्वी के घूमने के कारण आकाश में सूर्य की स्थिति बदलती प्रतीत होती है। जब सूर्य आकाश में अधिकतम ऊँचाई पर होता है तब उसे **मध्याह्न** (दोपहर) कहते हैं।

एक मध्याह्न और दूसरे मध्याह्न के बीच की अवधि को एक **सौर दिन** कहते हैं। सौर दिन का मान बदलता रहता है। अतः पूरे साल के सौर दिनों का समय लेकर दिनों की संख्या से भाग देकर मध्यमान सौर दिन ज्ञात कर लेते हैं।

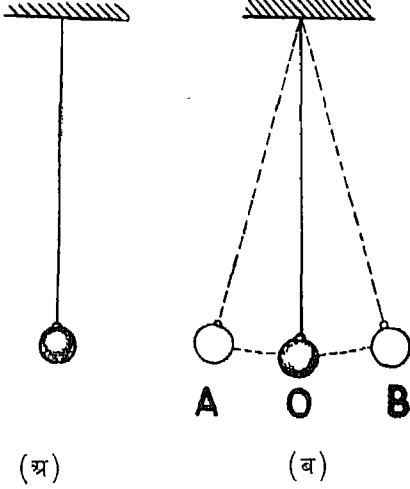
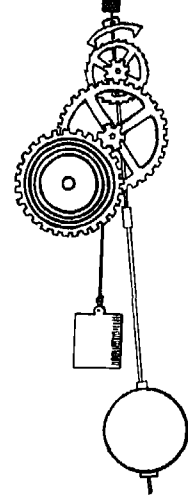
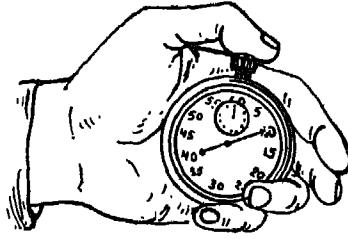
मध्यमान सौर दिन के 86,400 वें भाग को समय की इकाई चुना गया है। इसे **सेकंड** कहते हैं।

मध्यमान सौर दिन के 24 वें भाग को एक घंटा कहते हैं तथा एक घंटे के 60 वें भाग को एक मिनट और एक मिनट के 60 वें भाग को एक सेकंड कहते हैं। समय नापने वाले यंत्र को घड़ी कहते हैं।

अपनी प्रयोगशाला में एक प्रयोग करो।

प्रयोग

किसी धातु की एक गोली को धागे से बाँधकर एक स्तंभ से लटका दो जैसा कि चित्र 1.9 (अ) में दिखाया गया है। इस प्रकार बने हुए उपकरण को **सरल लोलक** कहते हैं। विराम अवस्था में लोलक ऊर्ध्वाधर लटकता है। विराम अवस्था से लोलक को जब थोड़ा दाईं ओर अथवा बाईं ओर हटाकर छोड़ दिया जाता है तब यह अपनी विराम अवस्था की स्थिति के इधर-उधर आने-जाने लगता है। लोलक को अपनी ऊँगली से दाईं ओर B स्थिति तक ले जाकर छोड़ दो। लोलक बाईं ओर को लौटेगा। यह विराम अवस्था की स्थिति O को पार करके A तक पहुँचेगा फिर वहाँ से लौटकर विराम अवस्था वाली स्थिति O को पार कर B तक जाएगा। इसी प्रकार फिर B से A की

ओर और A से B की ओर जाएगा। O से B तक तथा फिर B से A और A से O तक पहुँचने पर लोलक का एक दोलन पूरा होता है (चित्र 1.9 ब)। इस प्रकार से यह प्रक्रम बार-बार होता रहता है।

चित्र 1.9 (अ) विराम अवस्था में लोलक।
(ब) दोलन करता हुआ लोलक।

चित्र 1.10 दीवार घड़ी के नियंत्रक चक्र का कार्य-प्रदर्शी चित्र।

चित्र 1.11 स्टॉप-वाच

एक दोलन करने में लोलक जितना समय लेता है उसे **दोलन काल** कहते हैं। घड़ी की सहायता से सरल लोलक के एक दोलन का समय ज्ञात करो।

लोलक का एक दोलन एक निश्चित समय में पूरा होता है और प्रत्येक दोलन में बराबर समय लगता है। इसी गुण के कारण लोलक का प्रयोग दीवार घड़ी बनाने में किया जाता है।

लोलक के दोलन काल को लोलक की लंबाई में परिवर्तन करके बदला जा सकता है। यदि लोलक की लंबाई बढ़ाई जाए तो दोलन काल बढ़ जाएगा और यदि लंबाई कम कर दी जाए तो दोलन काल कम हो जाएगा।

चित्र 1.10 में दीवार घड़ी के लोलक को नियंत्रक चक्र से संबंधित दिखाया गया है।

हाथ की घड़ी में लोलक तो नहीं होता लेकिन एक कमानी होती है जो एक चक्र से लगी होती है। चक्र एक बार बाईं ओर और फिर

दूसरा बार दाइ ओर घूमता है। इस घड़ी की सहायता से 1 सेकंड तक का समय सही-सही नाप लिया जाता है। जब 1 सेकंड से कम समय नापना होता है तब स्टॉप-वाच का प्रयोग करते हैं। स्टॉप-वाच चित्र 1.11 में दिखाई गई है। इसकी सहायता से सेकंड के दसवें भाग को भी सही-सही नाप लेते हैं। स्टॉप-वाच की चाबी के पेंच को दबा करके स्टॉप-वाच को चलाते हैं। यदि इस चाबी के पेंच को दुबारा दबा दें तो घड़ी रुक जाती है और यदि तीसरी बार दबा दें तो घड़ी की सुइयाँ अपनी पहली वाली अवस्था में आ जाती हैं।

§ 4. एकसमान और असमान स्थानांतरीय गति

स्टेशन से छूटने पर रेलगाड़ी पहले कुछ समय के लिए धीरे-धीरे तथा फिर तेज़ चलती है। दूसरे स्टेशन पर रुकने के लिए पहले धीरे-धीरे चलने लगती है और अंत में रुक जाती है।

वायुयान उड़ने से पहले धीरे-धीरे अपने मैदान में चलता है फिर तेज़ होता है तथा ऊपर को धीरे-धीरे उठता जाता है और अंत में तेजी से उड़ जाता है।

ऊपर के दोनों उदाहरणों से यह स्पष्ट होता है कि रेलगाड़ी या वायुयान पहले कुछ समय में जितनी दूरी तय करते हैं बाद में उतने ही समय में अधिक दूरी तय करते हैं।

जब वस्तु अपनी पूरी **यात्रा में समान समय में समान दूरी तय करती है तब गति एकसमान स्थानांतरीय गति कही जाती है।** इसके विपरीत **जब समय की समान अवधियों में असमान दूरी तय करती है तब गति असमान स्थानांतरीय गति कहलाती है।**

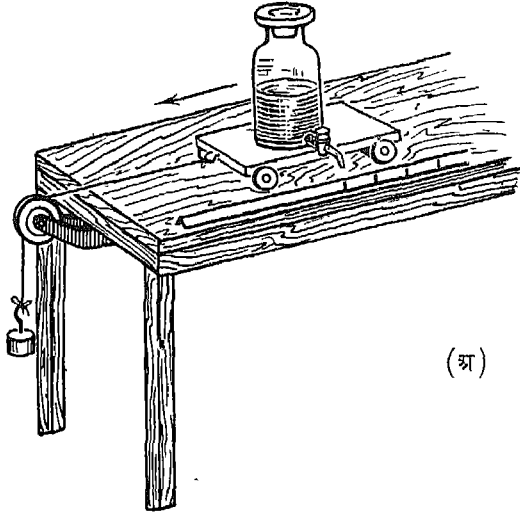
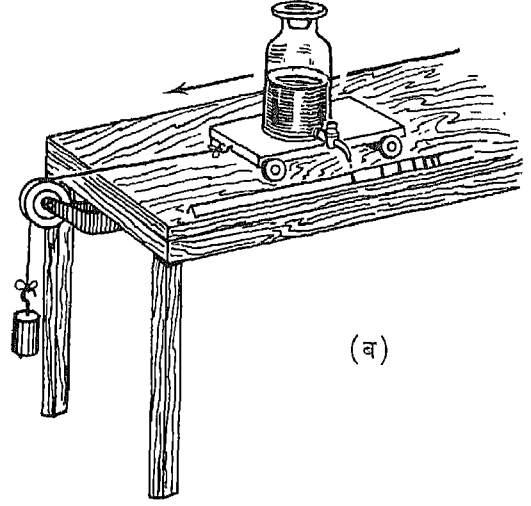
एकसमान और असमान गति की विशेषताओं का अध्ययन करने के लिए एक प्रयोग करो।

प्रयोग

लकड़ी की एक छोटी ट्रॉली लो। ट्रॉली के पहिए स्वतंत्रतापूर्वक घूमने चाहिए। इस ट्रॉली को एक चिकनी बड़ी मेज पर रखो। इस मेज़ पर सफ़ेद काग़ज़ बिछाओ। मेज़ के एक ओर एक घिरनी लगाओ। ट्रॉली पर टोंटी वाली स्याही से भरी एक बोतल रखो जैसा चित्र 1.12 (अ) में दिखाया गया है। इस ट्रॉली को एक मज़बूत धागे द्वारा बोझ से बाँध दो।

पहले इतना बोझ लटकाओ कि बहुत थोड़ा धक्का देने पर ट्रॉली चलने लगे। बोतल की टोंटी खोलो और हल्के धक्के द्वारा ट्रॉली को चलाओ। टोंटी में से स्याही बूँद-बूँद होकर गिरने लगेगी और काग़ज़ पर निशान पड़ेंगे। इन बूँदों के बीच की दूरी नापने पर तुम्हें पता चलेगा कि ये दूरियाँ समान होंगी।

अब टोंटी को थोड़ा अधिक खोल दो तथा ट्रॉली को फिर चलाओ। इस बार भी तुम नाप कर बताओ कि क्या बूँदों के बीच की दूरी समान रहती है?

वस्तु की वह गति, जिसमें वस्तु समान समय में समान दूरी तय करती है, एक-समान गति कहलाती है।

चित्र 1.12 (अ) ट्रॉली की एकसमान गति

(ब)

चित्र 1.12 (ब) ट्रॉली की असमान गति ।

गति की एकसमानता की जाँच समान अवधियों में चली दूरियों को नाप कर की जाती है । यदि तय की हुई दूरियाँ समान आती हैं तो गति एकसमान होती है । उदाहरण के लिए एक वस्तु यात्रा के प्रथम मिनट में 100 मीटर, दूसरे मिनट में भी 100 मी० तथा तीसरे 30 सेकंड में 50 मी० चलती है । वस्तु की यह गति एकसमान स्थानांतरीय गति है ।

चित्र 1.12 (ब) में अब इतना बोझ लटकाओ कि ट्रॉली बिना धक्का दिए ही चलने लगे । टोंटी खुली होने पर काग़ज़ पर बूँदों के निशान पड़ेंगे । नाप कर देखो कि क्या इन बूँदों के बीच की दूरियाँ समान हैं ? नापने पर पता चलेगा कि दूरियाँ समान नहीं हैं । इसका अर्थ है कि ट्रॉली समान समय में समान दूरी तय नहीं करती । ट्रॉली की गति इस बार असमान स्थानांतरीय गति है । वस्तु की वह गति, जिसमें वस्तु समान अवधि में असमान दूरी तय करती है, असमान स्थानांतरीय गति कहलाती है ।

मोटरकार की गति चलते समय अथवा रुकते समय असमान गति होती है । व्यवहार में एकसमान गति की अपेक्षा असमान गति ही अधिकतर घटित होती है ।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. रंदा, आरी और रेती की गतियाँ असमान हैं अथवा एकसमान ? अपने उत्तर की व्याख्या करो ।
2. समान समय को नापने की कोई एक सरल विधि बताओ ।
3. एक मीटर लंबी डोरी में एक भारी गोली अथवा पत्थर का टुकड़ा बाँध कर लोलक बनाओ । अपनी घड़ी से इस लोलक का दोलन-काल ज्ञात करो ।

4. गणना करके बताओ कि 5 मिनट में यह निर्मित लोलक कितने दोलन करेगा ।
5. असमान और एकसमान गति के तीन-तीन उदाहरण दो ।

§ 5. चाल तथा चाल की इकाई

अब तुम गति तथा समय के बारे में जानते हो ।

चित्र 1.1 में सड़क पर एक आदमी, एक बैलगाड़ी, एक साइकिल और एक मोटरकार चल रही है तथा ऊपर एक वायुयान उड़ रहा है । सबकी अपनी-अपनी चाल है लेकिन एक दूसरे की तुलना में अलग-अलग है । मनुष्य से साइकिल सवार तेज चलता है और मोटरकार से वायुयान तेज चलता है । तेज चलने का मतलब है कि एक निश्चित समय में मनुष्य जितनी दूरी चलता है साइकिल सवार उतने ही समय में अधिक दूरी चलता है । मोटरकार साइकिल से भी ज्यादा दूरी चलती है और उतने ही समय में वायुयान बहुत अधिक दूरी तय करता है ।

एक ही निश्चित समय में विभिन्न प्रकार के आने-जाने के ये साधन अपनी चाल के कारण भिन्न-भिन्न दूरियाँ तय करते हैं ।

जब हम चाल के बारे में बात करते हैं तब हमारा मतलब यह होता है कि वस्तु ने इकाई समय में कितनी दूरी तय की है । **इकाई समय में चली दूरी वस्तु की चाल कहलाती है ।** यदि एक पदयात्री 1 मिनट में 1 किलोमीटर चले तो पदयात्री की चाल प्रति मिनट 1 किलोमीटर होगी । इस बात को इस प्रकार कहते हैं कि पदयात्री की चाल 1 किलोमीटर/मिनट हैं ।

एकसमान गति में किसी वस्तु की चाल, वस्तु द्वारा चली हुई दूरी में उस समय से भाग देकर निकाली जाती है जितने समय में वस्तु ने दूरी तय की है ।

$$\text{चाल} = \frac{\text{दूरी}}{\text{समय}}$$

यदि चाल को v से, दूरी को s से और समय को t से दिखाएँ तो :

$$v = \frac{s}{t}$$

उदाहरण :

(1) एक मोटरकार 10 घंटे में 400 किलोमीटर दूरी चलती है । मोटरकार की चाल बताओ ।

s=400 कि० मी०
t=10 घंटा
v— ?

$$v = \frac{s}{t} = \frac{400 \text{ कि० मी०}}{10 \text{ घंटा}} = \frac{40 \text{ कि० मी०}}{\text{घंटा}}$$

(2) एक लड़का 5 सेकंड में 95 सें० मी० चलता है । लड़के की चाल बताओ ।

s=95 सें० मी०
t=5 सेकंड
v— ?

$$v = \frac{s}{t} = \frac{95 \text{ सें० मी०}}{5 \text{ सेकंड}} = \frac{19 \text{ सें० मी०}}{\text{सेकंड}}$$

चाल एक भौतिक इकाई होने के नाते, कई प्रकार की विशिष्ट इकाइयों में नापी जाती है, जैसे सें० मी०/सेकंड, मी०/सेकंड, कि० मी०/घंटा, मीटर/मिनट, परंतु भौतिकी में प्राय: चाल की इकाई मीटर/सेकंड ली जाती है ।

उदाहरण :—एक मोटरकार 72 कि० मी०/घं० की चाल से चलती है। मोटरकार की चाल मी०/मिनट और सें० मी०/सेकंड में बताओ।

हल :—किलोमीटरों को मीटरों में बदलो तथा घंटों को मिनटों में बदलो।

$$v = \frac{72 \text{ कि० मि०}}{\text{घंटा}}$$

$$v \left(\frac{\text{मी०}}{\text{मिनट}}\right) — ?$$

$$v \left(\frac{\text{सें० मी०}}{\text{सेकंड}}\right) — ?$$

$$v \left(\frac{\text{मी०}}{\text{मिनट}}\right) = 72 \frac{1000 \text{ मी०}}{60 \text{ मिनट}}$$

$$= \frac{1200 \text{ मीटर}}{\text{मिनट}}$$

$$v \left(\frac{\text{सें० मी०}}{\text{सेकंड}}\right) = \frac{72 \times 1,00,000 \text{ सें० मी०}}{3600 \text{ से०}}$$

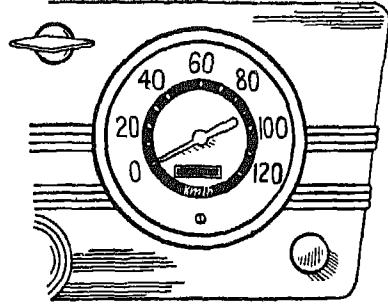
$$= \frac{2000 \text{ सें० मी०}}{\text{सेकंड}}$$

अतः मोटर की चाल $\frac{1200 \text{ मी०}}{\text{मिनट}}$

अथवा

$\frac{2000 \text{ सें० मी०}}{\text{सेकंड}}$ हुई

उपर्युक्त उदाहरण से स्पष्ट है कि दो वाहनों की चालों की तुलना करने के लिए दोनों की चालों की एक ही इकाई होनी चाहिए।

इंजीनियरिंग में चाल को नापने के लिए विशेष प्रकार के यंत्र होते हैं। मोटरकारों तथा अन्य वाहनों में चाल नापने के लिए जो यंत्र लगा होता है, उसे चित्र 1.13 में दिखाया गया है। इसको **चालमापी** कहते हैं। चाल मापी के कलपुर्जे, मोटरकार के पहियों से संबंधित होते हैं। चालमापी की सुई मोटरकार की चाल बताती है।

चित्र 1.13 मोटरकार का चालमापी।

कुछ वस्तुओं की चाल

घोंघा	0.15 सें० मी०/से०
पदयात्री	1.2 से 1.8 मी०/से०
बैलगाड़ी	1.7 मी०/से०
चीता (सबसे तेज़ दौड़ने वाला जानवर)	29 मी०/से०
तेज़ मोटर	30 मी०/से०
रेलगाड़ी (तीव्रतम चाल)	56 मी०/से०
डक हाक (सबसे तेज़ उड़ने वाली चिड़िया)	78 मी०/से०
विमान	210 मी०/से०
ध्वनि (हवा में 0° सें० पर)	332 मी०/से०
जेट वायुयान	663 मी०/से०
रायफल की गोली	860 मी०/से०
चंद्रमा (पृथ्वी के गिर्द)	1 कि० मी०/से०
ध्वनि (पानी में)	1450 मी०/से०
कृत्रिम उपग्रह	8 कि० मी०/से०
पृथ्वी (सूर्य के चारों ओर)	29.9 कि० मी०/से०
प्रकाश और रेडियो-तरंग	300,000 कि० मी०/से०

मान लो कि एक रेलगाड़ी की चाल 15 मी०/से० है। इसका मतलब यह है कि रेलगाड़ी

प्रत्येक सेकंड में 15 मीटर दूरी तय करती है। पहले सेकंड में यह 15 मीटर चलेगी, दूसरे सेकंड में 15 मीटर चलेगी तथा तीसरे सेकंड में भी 15 मी० ही चलेगी। इसी प्रकार क्रमशः और आगे के सेकंडों में चलेगी।

प्रथम सेकंड की चली हुई दूरी तो 15 मी० हुई परंतु दूसरे सेकंड के अंत तक चली हुई दूरी में दूसरे सेकड की दूरी और पहले सेकड की दूरी दोनों सम्मिलित हैं। अतः दूसरे सेकंड के अंत तक चली दूरी 30 मीटर, इसी प्रकार तीसरे सेकंड के अंत तक चली दूरी 45 मी०, चौथे सेकंड के अंत तक चली दूरी 60 मी० हुई।

गणना निम्नलिखित है :

1 सेकंड में चली दूरी = 15 मी०

2 सेकंड में चली दूरी

$$= \frac{15 \text{ मी०}}{\text{से०}} \times 2 \text{ से०} = 30 \text{ मी०}$$

3 सेकंड में चली दूरी

$$= \frac{15 \text{ मी०}}{\text{से०}} \times 3 \text{ से०} = 45 \text{ मी०}$$

4 सेकंड में चली दूरी

$$= \frac{15 \text{ मी०}}{\text{से०}} \times 4 \text{ से०} = 60 \text{ मी०}$$

अतः यदि इस रेलगाड़ी की 10 सेकंड की चली दूरी ज्ञात करनी है तो रेलगाड़ी द्वारा 10 सेकंड में चली दूरी

$$= \frac{15 \text{ मी०}}{\text{से०}} \times 10 \text{ से०} = 150 \text{ मी०}$$

इसलिए यदि किसी वस्तु की चाल दी हुई हो तो निश्चित समय में वस्तु द्वारा चली हुई दूरी ज्ञात करने के लिए वस्तु की चाल में समय से गुणा करना चाहिए।

दूरी = चाल × समय	अथवा	$s = v \times t$

उदाहरण:—एक पदयात्री की चाल 2 कि० मी०/घंटा है। वह 5 घंटे में अपने घर पहुँचता है। बताओ वह कितनी दूरी चला।

$v = \frac{2 \text{ कि० मी०}}{\text{घंटा}}$

$t = 5$ घंटा

$s - ?$

दूरी = चाल × समय

$s = v \times t$

$$= \frac{2 \text{ कि० मी०}}{\text{घंटा}} \times 5 \text{ घंटा}$$

$= 10$ कि० मी०

अभ्यास

1. एक रेलगाड़ी की चाल 60 कि० मी०/घंटा है। इसकी चाल मी०/से० में बताओ।
2. मेघ-गर्जन, तड़ित (बिजली की चमक) के 6 सेकंड बाद सुनाई पड़ी। तड़ित की दूरी बताओ।
3. 3 मी०/से० की चाल से तुम साइकिल चला कर 10 घंटे में कितनी दूर चले जाओगे? उत्तर कि० मी० में बताओ।
4. तुम्हारे स्कूल से तुम्हारा घर 8 कि० मी० दूर है। बताओ तुम्हारी चाल कितनी होनी चाहिए ताकि तुम 4 घंटे में अपने घर पहुँच सको।

§ 6. औसत चाल

मोटरकार, रेलगाड़ी, वायुयान आदि की चाल चलते और रुकते समय असमान होती है। इसका अर्थ यह है कि ये सब चलते समय अथवा रुकते समय समान अवधियों में असमान दूरियाँ तय

करते हैं । इससे स्पष्ट है कि कुछ दूरी के लिए चाल कुछ होती है और कुछ दूरी के लिए कुछ और । परंतु फिर भी हम यही कहते हैं कि मोटर-कार की चाल इतनी रही और रेलगाड़ी की चाल इतनी । इस चाल से वास्तव में हमारा आशय औसत चाल से होता है ।

जब कभी असमान गति में चाल के बारे में बात की जाती है तब हमारा आशय सदैव औसत चाल से होता है ।

उदाहरण के लिए दिल्ली और बंबई के बीच 1380 किलोमीटर की दूरी है । एक रेलगाड़ी दिल्ली से बंबई 23 घंटे में पहुँचती है । इन 23 घंटों में रेलगाड़ी की गति एकसमान तो रहती नहीं है । यह कभी धीरे-धीरे चलती है, कभी तेज़ चलती है और कभी बिल्कुल भी नहीं चलती । रेलगाड़ी की गति असमान रहती है ।

यदि रेलगाड़ी की गति एकसमान होती तो रेलगाड़ी की चाल 60 किलोमीटर प्रति घंटा होती ।

अतः दिल्ली और बंबई के बीच रेलगाड़ी की औसत चाल 60 किलोमीटर/घंटा रही ।

असमान गति में औसत चाल निकालने के लिए वस्तु द्वारा कुल चली दूरी को कुल लगे हुए समय से भाग दिया जाता है ।

$$\textbf{औसत चाल} = \frac{\textbf{कुल दूरी}}{\textbf{कुल समय}}$$

सूत्र रूप में

$$v_{\text{औसत}} = \frac{s}{t}$$

उदाहरण : दिल्ली और कलकत्ता के बीच की दूरी 1450 किलोमीटर है । एक रेलगाड़ी 58 किलोमीटर/घंटा की चाल से कितने घंटे में कलकत्ता पहुँचेगी ?

$s = 1450$ कि० मी०

$v_{\text{औसत}} = 58 \frac{\text{कि० मी०}}{\text{घंटा}}$

$t — ?$

$$v_{\text{औसत}} = \frac{s}{t}$$

$$t = \frac{s}{v_{\text{औसत}}} = \frac{1450 \text{ कि० मी०}}{\frac{58 \text{ कि० मी०}}{\text{घंटा}}} = 25 \text{ घंटा}$$

यदि औसत चाल और कुल दूरी ज्ञात हो तो वस्तु कितने समय तक चलती रही यह बताया जा सकता है । जब औसत चाल और समय मालूम होते हैं तब दोनों को गुणा करके दूरी ज्ञात कर ली जाती है ।

$$\text{दूरी} = \text{औसत चाल} \times \text{समय}$$

प्रश्न तथा अभ्यास

1. एक वायुयान 1400 किलोमीटर की दूरी 800 किलोमीटर/घंटा की चाल से कितने समय में तय करेगा ?
2. एक पदयात्री 50 मीटर दूरी 40 सेकंड में चलता है तथा अगले 15 सेकंड में वह केवल 30 मीटर ही चल पाता है । बताओ दोनों दशाओं में उसकी चाल क्या रही तथा समस्त दूरी चलने में उसकी औसत चाल कितनी रही ।
3. एक रेलगाड़ी ने प्रथम 200 मीटर दूरी 10 मी०/से० की औसत चाल से तथा शेष 360 मीटर 12 मी०/से० की चाल से तय की । बताओ कुल दूरी तय करने में रेलगाड़ी की औसत चाल कितनी रही ।
4. एक खिलाड़ी खेल के मैदान में 600 मीटर, 2 मिनट और 10 से० में दौड़ता है । खिलाड़ी की चाल बताओ ।

§ 7. जड़त्व

अपनी मेज़ पर एक पुस्तक रखो । यदि इस पुस्तक को कोई हिलाए नहीं तो कल भी तुम्हें यह पुस्तक उसी स्थान पर पड़ी हुई मिलेगी । पुस्तक के स्थान में परिवर्तन केवल बल लगाकर ही किया जा सकता है । जब तक इस पुस्तक को कोई हिलाए नहीं अथवा उठाए नहीं तब तक यह अपने स्थान पर ही जैसी की तैसी पड़ी रहेगी ।

मेज पर एक कागज़ रखो । कागज़ के ऊपर पानी से भरा एक गिलास रखो । कागज़ को एक हाथ से पकड़कर शीघ्रता से खींचो (चित्र 1.14) ।

चित्र 1.14 जब गिलास के नीचे का कागज झटके से खीच लिया जाता है तब कागज़ तो खिंच जाता है लेकिन गिलास की स्थिति मे कोई परिवर्तन नहीं होता ।

तुम देखोगे कि कागज़ तो गिलास के नीचे से खिंच गया परंतु गिलास अपने ही स्थान पर रहा । इसके स्थान में कोई परिवर्तन नहीं हुआ । यह अपनी पहली अवस्था में ही रहा ।

उपर्युक्त प्रयोगों से यह स्पष्ट है कि कोई भी वस्तु जिस अवस्था में होती है उसी अवस्था में रहना चाहती है । वह अपनी अवस्था में स्वयं परिवर्तन की चेष्टा नहीं करती ।

चलती हुई साइकिल पैडलों के चलाए बिना भी कुछ दूर चलती है । सड़क यदि चिकनी होती है तो साइकिल अधिक दूर चलती है और यदि खुरदरी होती है तो कम दूर चलकर रुक जाती है । कमरे का फ़र्श यदि चिकना होता है तो गेंद अधिक दूर लुढ़कती है अन्यथा खुरदरा होने पर कम दूर लुढ़ककर रुक जाती है । इस प्रकार की सब चलती हुई वस्तुएँ अंत में रुक जाती हैं । क्यों ?

लकड़ी के समतल और चिकने तख़्ते की सहायता से अपनी मेज पर एक झुका हुआ तल बनाओ । इस तल पर एक ट्रॉली रखो । ट्रॉली लुढ़ककर मेज़ पर आ जाती है और मेज़ पर कुछ दूर चलकर रुक जाती है । ट्रॉली के रास्ते में मेज़ पर थोड़ा बालू बिछाओ । ट्रॉली को फिर वैसे ही रखो । इस बार ट्रॉली मेज़ पर पहले से कम दूर चलकर रुक जाती है ।

बालू ट्रॉली की गति में परिवर्तन कर देता है । तुम यह जानते ही हो कि गति में परिवर्तन केवल बल द्वारा ही किया जा सकता है । अतः बालू ट्रॉली की गति की दिशा के विपरीत बल लगाता है । इस विपरीत बल को **घर्षण बल** कहते है ।

चलती हुई वस्तु अपने आप से नहीं रुकती । यह स्वयं रुकने की चेष्टा भी नहीं करती । यह घर्षण बल के कारण ही रुकती है । यदि घर्षण बल न होता तो चलती हुई वस्तु चलती ही रहती ।

वस्तु अपनी अवस्था में स्वयं किसी परिवर्तन की चेष्टा नहीं करती । यदि स्थिर अवस्था में होती है तो सदैव स्थिर ही रहती है और यदि गति-

शील अवस्था में होती है तो सदैव गतिशील अवस्था में ही रहने की चेष्टा करती है।

न्यूटन का सिद्धांत

उपर्युक्त तथ्य का अवलोकन सबसे पहले इटली के वैज्ञानिक गैलीलियो ने किया था।

गैलीलियो के अवलोकन को महान् वैज्ञानिक आइज़क न्यूटन (1642—1727) ने विज्ञान में यांत्रिकी के भौतिक नियम के रूप में प्रस्तुत किया जो इस प्रकार है :

जब किसी स्थिर अथवा गतिशील वस्तु पर कोई बल नहीं लग रहा है तब वह स्थिर रहेगी या एकसमान गति से चलती रहेगी ।

इस तथ्य से यह निष्कर्ष निकलता है कि यदि कोई वस्तु स्थिर अवस्था में है अथवा एकसमान गति से चल रही है तो उस पर कोई बल नहीं लग रहा है।

इस नियम को दूसरे रूप में भी लिखा जा सकता है। **प्रत्येक वस्तु तब तक अपनी स्थिर अथवा गतिशील अवस्था में ही रहना चाहती है जब तक कि वह किसी बाहरी बल द्वारा अवस्था परिवर्तन के लिए बाध्य न की जाए।**

यह नियम **जड़त्व** का नियम कहलाता है। किसी वस्तु की स्थिर रहने या एकसमान गतिशील अवस्था में रहने की प्रवृत्ति को जड़त्व कहते हैं। जड़त्व का गुण प्रकृति की सभी वस्तुओं में होता है।

किसी गतिशील वस्तु को अचानक रोकने में या उसकी गति की दिशा बदलने में अथवा उसकी चाल बदलने में हमें जड़त्व के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है।

यदि हम दौड़ना चाहें तो इसके लिए हमें विशेष प्रयास करना पड़ता है पर एक बार दौड़ने के बाद यकायक रुकना असंभव होता है। हम सभी जानते हैं कि दौड़ते हुए मनुष्य को अचानक दौड़ने की दिशा बदलना कठिन होता है। ऐसे ही अन्य गतिशील वस्तुओं में भी जड़त्व होता है। इसलिए खराद करने वाली मशीन को अचानक तीव्र गति से चलाना या चलती मशीन को अचानक रोकना असंभव होता है।

परिवहन में जड़त्व का महत्त्वपूर्ण स्थान है। चलती हुई मोटरकार या रेलगाड़ी अचानक नहीं रोकी जा सकती है। जब तेज चलती हुई मोटरकार में अचानक ब्रेक लगा दिए जाते हैं तब पहियों का घूमना तो बंद हो जाता है लेकिन जड़त्व के कारण मोटरकार फिर भी कुछ दूरी तक चली जाती है और साथ ही साथ पहिए सड़क पर घिसटते जाते हैं।

हम जानते हैं कि चलती बस में बैठे हुए यात्री ब्रेक लगने पर बस के चलने की दिशा में झुक जाते हैं। कभी-कभी तेज चलती हुई बस में अचानक ब्रेक लगाने से उसमें खड़े यात्री आगे की ओर गिर भी जाते हैं। यदि कोई बस एक साथ तेजी से चलना शुरू कर दे तो उसमें खड़े यात्री पीछे की ओर गिर पड़ते हैं।

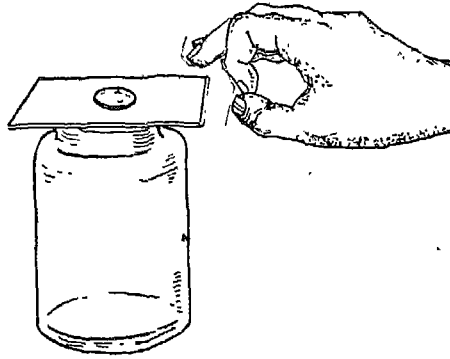
जड़त्व प्रत्येक वस्तु का सामान्य गुण है। इसके परिमाण का अनुमान वस्तु की संहति से लगाया जाता है। किसी वस्तु में जितनी अधिक संहति होगी उसमें उतना ही जड़त्व अधिक होगा। दूसरे शब्दों में हम इस प्रकार भी कह सकते हैं कि किसी वस्तु में जितना अधिक जड़त्व होगा उसमें उतनी ही अधिक संहति होगी।

अपने दैनिक जीवन में हम देखते हैं कि व्यवहार में किसी स्थिर वस्तु को गतिशील करने के लिए उसकी संहति के अनुसार ही बल की आवश्यकता होती है।

किसी वस्तु की जितनी अधिक संहति होगी उसे गतिशील करने के लिए उतने ही अधिक बल

की आवश्यकता होगी। इसी कारण एक ही चाल से चलते हुए दो समान वाहकों में से सामान से लदे हुए वाहक को रोकने की अपेक्षा खाली वाहक को रोकना आसान होता है।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. तेज चलते समय यदि कभी पैर में ठोकर लग जाती है तो बच्चे गिर क्यों पड़ते हैं ?
2. कपड़ों पर लगे धूल के कण कपड़ों को हिलाने पर या फटकारने पर झड़ जाते हैं। ऐसा क्यों होता है ? कारण बताओ।
3. चलती हुई साइकिल को रोकने के लिए आगे और पीछे लगे ब्रेकों में से किस ब्रेक को पहले लगाना चाहिए ? अपने उत्तर की पूरी व्याख्या करो।
4. गिलास के मुँह पर एक पोस्टकार्ड का टुकड़ा रखो। इस पोस्टकार्ड के ऊपर एक सिक्का रखो। पोस्टकार्ड को उँगली से झटका देकर हटाओ जैसा चित्र 1.15 में दिखाया गया है। बताओ क्या होता है और क्यों ?

चित्र 1.15 जब पोस्टकार्ड में जोर की चुटकी मारी जाती है तब पोस्टकार्ड तो दूसरी तरफ निकल जाता है परंतु जड़त्व के कारण सिक्के की स्थिति में परिवर्तन नहीं होता है।

5. भारी और हल्के हथौड़ों को यदि हत्थे के सिरे की तरफ से ठोका जाए तो बताओ कौन-सा हथौड़ा अच्छी तरह से ठुक जाएगा।
6. बताओ भरी हुई मोटरगाड़ियों की टक्कर, खाली मोटरगाड़ियों की टक्कर की अपेक्षा क्यों अधिक भयंकर होती है जबकि दोनों प्रकार की गाड़ियों की चाल समान होती है।
7. बताओ मशीनों और औजारों के आधार भारी क्यों बनाए जाते हैं।

§ 8. एकसमान स्थानांतरीय गति कैसे प्राप्त की जा सकती है

हम जानते हैं कि यदि किसी वस्तु पर कोई बल न लग रहा हो तो वस्तु या तो स्थिर अवस्था में रहेगी अथवा एकसमान गति से चलती रहेगी। परंतु व्यवहार में प्रत्येक वस्तु पर किसी न किसी प्रकार का बल (घर्षण बल, गुरुत्व बल आदि) लग रहा होता है। इन बलों को हटाना बहुत कठिन है। फिर एकसमान स्थानांतरीय गति कैसे प्राप्त की जा सकती है ? इसके लिए

निम्नलिखित प्रयोग करो।

एक गुटके पर दो स्प्रिंग बैलेंस लगाओ। इनको समान बल से खींचो। इस प्रकार गुटके पर दो समान बल एक ही सरल रेखा में परंतु विपरीत दिशा में लगते हैं। तुम देखोगे कि एक ही सरल रेखा में लगे हुए इन समान परिमाण वाले परंतु विपरीत दिशा में लगने वाले दोनों बलों के प्रभाव में गुटका स्थिर रहता है।

अतः कोई वस्तु केवल उस अवस्था में ही स्थिर नहीं रहती जब कि उस पर कोई बल न लग रहा हो वरन् उस अवस्था में भी वस्तु स्थिर रहती है जब उस पर दो समान व विपरीत बल एक ही सरल रेखा में लग रहे हों।

अब हम यह बताते हैं कि एक ही सरल रेखा में परंतु विपरीत दिशा में लगे हुए दो समान बलों का किसी गतिशील वस्तु पर क्या प्रभाव पड़ता है।

तुम जानते हो कि मोटरकार इंजन द्वारा लगाए जाने वाले बल के कारण ही चलती है। मोटरकार के चलते ही इसकी गति की दिशा के विपरीत घर्षण बल लगना शुरू हो जाता है। मोटरकार की चाल जैसे-जैसे बढ़ती जाती है वैसे-वैसे इसकी चाल के विपरीत लगने वाला बल भी बढ़ता जाता है। परंतु एक निश्चित चाल पर अवरोध बल (घर्षण बल, वायु प्रतिरोध बल) इंजन द्वारा लगाए जाने वाले बल (कर्षक बल) के बराबर हो जाता है। जब इंजन का कर्षक बल और अवरोध बल समान होते हैं तब यह एक दूसरे को संतुलित करते हैं। कारण यह है कि यह एक ही सरल रेखा में परंतु विपरीत दिशा में लगे होते हैं। इस प्रकार इन दोनों बलों का सम्मिलित प्रभाव शून्य हो जाता है। इसके बाद मोटरकार की गति एकसमान स्थानांतरीय गति होती है।

जब जलयान के इंजन का कर्षक बल पानी तथा हवा के प्रतिरोध बल के बराबर हो जाता है तब जलयान की गति एकसमान गति होती है जो इसकी एक विलक्षणता है।

अतः गतिशील वस्तु पर जब एक ही सरल रेखा में परंतु विपरीत दिशा में दो समान बल लगे होते हैं तब वस्तु एकसमान गति से चलती रहती है।

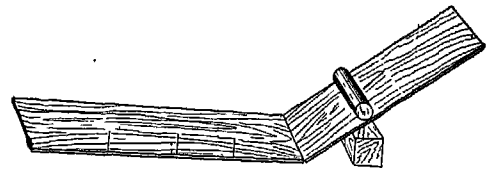
एक सरल रेखा में परंतु विपरीत दिशा में लगे हुए दो समान बलों को पारस्परिक संतुलित बल कहते हैं।

अतः न्यूटन के प्रथम नियम को निम्नलिखित शब्दों में कहा जा सकता है :

कोई वस्तु स्थिर अवस्था में अथवा एकसमान गति में तब तक रहती है जब तक कि उस पर कोई बाहरी बल न लगे अथवा उस पर संतुलित बल लगे।

§ 9. घर्षण

गतिशील वस्तु किसी न किसी धरातल पर ही चलती है। फलतः वस्तु की गति पर धरातल की प्रकृति का प्रभाव पड़ता है।

चित्र 1.16 की तरह से प्रबंध करो। एक नतसमतल की एक निश्चित ऊँचाई से एक बेलन को लुढ़काओ। चिकने क्षैतिज समतल पर इसके द्वारा चली गई दूरी का निरीक्षण करो। निरीक्षण पर तुम्हें पता चलेगा कि बेलन की चाल चिकने क्षैतिज समतल पर धीरे-धीरे कम होती

चित्र 1.16 विभिन्न सतह के नतसमतल पर एक ही बेलन उसके क्षैतिज तल पर भिन्न-भिन्न दूरी तय करता है।

जाती है और अंत में बेलन कुछ दूर चलने के पश्चात् रुक जाता है। इसी प्रयोग को अब एक खुरदरे क्षैतिज तल पर करो तथा बेलन को नत-समतल की उसी ऊँचाई से लुढ़काओ। खुरदरे क्षैतिज तल पर चली गई दूरी का निरीक्षण करो। तुम देखोगे कि यह पहले से कम है। अब क्षैतिज तल पर बालू बिछाकर प्रयोग करो। तुम देखोगे कि यद्यपि बेलन को नतसमतल की उसी ऊँचाई से लुढ़काया जाता है तो भी यह उतनी दूरी तक नहीं लुढ़कता है जितनी दूरी तक यह पहले लुढ़का था।

क्षैतिज समतल जब चिकना होता है तब बेलन अधिक दूर लुढ़कता है तथा खुरदरे तल पर कम दूर और जब बालू बिछा दी जाती है तब तो बहुत ही कम दूर लुढ़कता है।

तुम जानते हो कि न्यूटन के प्रथम नियम के अनुसार यदि किसी गतिशील वस्तु की चाल कम होती जाती है तो वस्तु पर बल लग रहा होता है। यह बल वस्तु की गति में बाधा डालता है तथा गति की दिशा की विपरीत दिशा में लगता है। इस विपरीत बल को **घर्षण बल** कहते हैं।

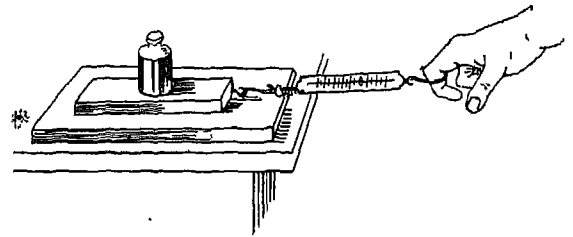
घर्षण बल वस्तु की गति की विपरीत दिशा में और दो तलों के बीच में लगता है। घर्षण बल के लगने का एक कारण तो यह है कि धरातल चिकने नहीं होते। व्यवहार में कोई भी तल पूरी तरह से चिकना नहीं होता है। चिकना प्रतीत होने वाले तलों में भी बहुत सूक्ष्म गड्ढे और उभार होते हैं। चित्र 1.17 (अ) में चिकनी सतह का असमतल (ऊँचा-नीचा) भाग बहुत बड़े आकार में दिखाया है। एक तल

चित्र 1.17 (अ) चिकनी सतह की ऊँचे-नीचे भागों को बढ़ा कर दिखाया गया है।

को दूसरे तल पर रखने पर एक तल के गड्ढों में दूसरे तल के उभार फँस जाते हैं। दूसरा कारण यह है कि अणु आपस में एक दूसरे को आकर्षित करते हैं।

एक भारी बक्स को क्षैतिज दिशा में बल लगाकर सरकाने का प्रयत्न करो। तुम इसको सरका नहीं पाते। इसका अर्थ यह है कि कोई बल तुम्हारे लगाए हुए बल की विपरीत दिशा में लगता है। यह बल बक्स का भार नहीं हो सकता। कारण यह है कि भार नीचे की ओर लगता है। यही विपरीत दिशा वाला बल घर्षण बल कहलाता है। इस घर्षण बल को स्थैतिक घर्षण कहते हैं।

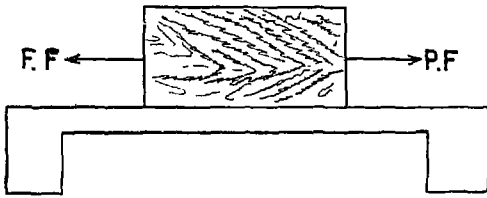
कोई वस्तु जब बाहरी बल के प्रभाव में सरकती है तब सरकने से उत्पन्न घर्षण को **सर्पी घर्षण** कहते हैं। यदि यह वस्तु सरकने के स्थान पर लुढ़कती है तो लुढ़कने से उत्पन्न घर्षण को **लोटनिक घर्षण** कहते हैं। उदाहरण के लिए बैलगाड़ी, मोटरकार या रेलगाड़ी के पहिए सरकते नहीं हैं, लुढ़कते हैं।

आइसक्रीम के भारी ठेले को तुम अकेले नहीं धकेल पाते। दो-तीन लड़के मिलकर जब एक बार चला लेते हो तब फिर तुम अकेले ही इसको धकेल कर ले जा सकते हो। इसका अर्थ यह है कि घर्षण बल स्थिर अवस्था में अधिक होता है।

चित्र 1.17 (ब) सर्पी घर्षण बल ज्ञात करना।

घर्षण बल का नापना न्यूटन के प्रथम नियम पर आधारित है। एक लकड़ी के गुटके का सर्पी घर्षण बल ज्ञात करने के लिए पृष्ठ 19 पर दिया गया प्रयोग करो।

अपनी क्षैतिज मेज पर लकड़ी का एक चिकना तख़्ता रखो। इस तख़्ते के ऊपर एक लकड़ी का गुटका रखो। गुटके के ऊपर कोई एक भार रखो। गुटके का संबंध एक स्प्रिंग बैलेंस से करो जैसा कि चित्र 1.17 (ब) में दिखाया गया है। स्प्रिंग बैलेंस के हुक को पकड़कर गुटके को एकसमान गति से चलाओ। इस दशा में गुटके पर दो बल लगते हैं।

1. तुम्हारे द्वारा लगाया जाने वाला बल (खिंचाव बल)।
2. घर्षण बल।

न्यूटन के प्रथम नियम के अनुसार गतिशील वस्तु पर जब समान परिमाण वाले दो बल एक सरल रेखा में परंतु विपरीत दिशा में लगे हों तब गतिशील वस्तु एकसमान स्थानांतरीय गति में होती है (चित्र 1.17 स)। **गुटके की गति एकसमान स्थानांतरीय गति है इसलिए सर्पी घर्षण बल और खिंचाव बल दोनों समान हैं।**

चित्र 1.17 (स) एकसमान गति करती हुई वस्तु पर लगे हुए बल।

घर्षण बल = खिंचाव बल।

यदि घर्षण बल को F से और खिंचाव बल को P से दिखाएँ तो -

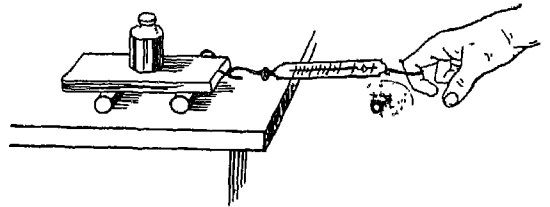
$$F = P$$

इस प्रकार घर्षण बल नापने के लिए एक प्रयोगात्मक नियम मिल जाता है। घर्षण बल नापने के लिए किसी वस्तु को एकसमान गति से खींचना आवश्यक है क्योंकि तभी घर्षण बल खिंचाव बल के समान होता है।

इस प्रयोग में हाथ से गुटके को एकसमान गति से खींचना बहुत कठिन है। घर्षण बल का बारीकी से नापना इस बात पर निर्भर करता है कि एकसमान गति किस सीमा तक प्राप्त की जा सकती है।

गुटके को स्थिर अवस्था से गतिशील अवस्था में लाते समय स्प्रिंग बैलेंस की माप, गुटके को एकसमान गति से खींचते समय स्प्रिंग बैलेंस की माप से, अधिक होती है। क्यों? इसका कारण यह है कि स्थिर अवस्था से गतिशील अवस्था में लाते समय स्प्रिंग बैलेंस की माप स्थैतिक घर्षण की माप होती है। इससे स्पष्ट हो जाता है कि **स्थैतिक घर्षण बल समान परिस्थितियों में वस्तु के गतिशील अवस्था के घर्षण बल से अधिक होता है।**

प्रयोगों में इसलिए यह आवश्यक है कि वस्तु को एकसमान गति से चलाया जाए और एकसमान गति पैदा करने वाले बल को स्प्रिंग बैलेंस से बारीकी से नापा जाए।

अब इस गुटके के नीचे लकड़ी के दो बेलन रखो जैसा कि चित्र 1.18 में दिखाया गया है।

चित्र 1.18 लोटनिक घर्षण बल को ज्ञात करना।

गुटके को फिर एकसमान गति से पहले की तरह चलाओ। इस बार तुम देखोगे कि स्प्रिंग बैलेंस का पठन कम आता है। इस प्रयोग में तुमने देखा कि बेलन रखने से घर्षण बल का मान कम आया। इससे यह सिद्ध होता है कि लोटनिक घर्षण, सर्पी घर्षण से कम होता है।

अपनी मेज पर क्षैतिज पड़ी हुई पुस्तक के मुख-पृष्ठ को उठाकर थोड़ा झुका हुआ तल बनाओ। अब एक पेंसिल मुखपृष्ठ पर पुस्तक की चौड़ाई के समांतर बीच में रखो। पेंसिल पर थोड़ा-सा बल लगाओ। बल लगाने पर तुम देखोगे कि पेंसिल बहुत कम फिसलती है। दूसरी बार इसी झुके हुए तल पर पेंसिल को पुस्तक की लंबाई के समांतर इस प्रकार रखो कि यह स्थिर रहे। इस अवस्था में भी पेंसिल पर उतना ही बल लगाओ। बल लगाने पर तुम देखोगे कि यह लुढ़क जाती है। पहली दशा में बल लगने पर पेंसिल बहुत कम फिसलती है लेकिन दूसरी बार में पेंसिल उसी बल से लुढ़क जाती है।

उपर्युक्त दोनों प्रयोगों से यह स्पष्ट है कि **सर्पी घर्षण समान परिस्थितियों में लोटनिक घर्षण से अधिक होता है।**

§ 10. घर्षण गुणांक

लकड़ी के समान भार के तीन गुटके लो। इनमें से एक गुटके का तल खुरदरा हो। चिकने तल वाले गुटके का भार ज्ञात करो। मान लो कि यह 800 ग्रा० भा० है। अब पहले की तरह गुटके को स्प्रिंग बैलेंस से जोड़कर सर्पी घर्षण बल ज्ञात करो। मान लो इसका मान 240 ग्रा० भा० है।

अब $\frac{\text{घर्षण बल}}{\text{भार}}$ का मान ज्ञात करो।

$$\frac{\text{घर्षण बल}}{\text{भार}}=\frac{240 \text{ ग्रा० भा०}}{800 \text{ ग्रा० भा०}}$$
$$=0{\cdot}3$$

अब इस गुटके के ऊपर दूसरा गुटका रखकर घर्षण बल ज्ञात करो। तुम देखोगे कि इसका मान पहले से दूना होगा। इस बार स्प्रिंग बैलेंस से सर्पी घर्षण बल का मान 480 ग्रा० भा० आता है।

दोनों गुटकों का भार 1600 ग्रा० भा० हुआ।

$\frac{\text{घर्षण बल}}{\text{भार}}$ का मान इस बार निकालो

$$\frac{\text{घर्षण बल}}{\text{भार}}=\frac{480 \text{ ग्रा० भा०}}{1600 \text{ ग्रा० भा०}}$$
$$=0{\cdot}3$$

अब तीसरे गुटके को भी उन दोनों गुटकों के ऊपर रखकर सर्पी घर्षण बल ज्ञात करो। यह 720 ग्रा० भा० आता है। तीनों गुटकों का भार 2400 ग्रा० भा० हुआ। इस बार भी

$$\frac{\text{घर्षण बल}}{\text{भार}}=\frac{720 \text{ ग्रा० भा०}}{2400 \text{ ग्रा० भा०}}$$
$$=0{\cdot}3$$

इस प्रयोग से यह स्पष्ट होता है कि हर दशा में $\frac{\text{घर्षण बल}}{\text{भार}}$ का मान समान आता है। इस अनुपात को **घर्षण गुणांक** कहते हैं।

$$\text{घर्षण गुणांक}=\frac{\text{घर्षण बल}}{\text{भार}}$$

इस प्रकार यदि क्षैतिज समतल के सहारे की एकसमान गति में F घर्षण बल, P गतिशील वस्तु का भार तथा घर्षण गुणांक हो तो

$$\mu=\frac{\mathbf{F}}{\mathbf{P}}$$

इससे घर्षण बल की गणना की जा सकती है।

$$\mathbf{F}=\mu\times\mathbf{P}$$

इस प्रयोग से यह भी स्पष्ट होता है कि भार में परिवर्तन करने से घर्षण बल में परिवर्तन हो

जाता है। घर्षण बल भार के समानुपाती होता है। इसका अर्थ यह है कि यदि भार बढ़ता है तो घर्षण बल भी उसी अनुपात में बढ़ता है और यदि भार घटता है तो घर्षण बल भी घटता है। घर्षण गुणांक के मान में कोई परिवर्तन नहीं होता। इन प्रयोगों से यह निष्कर्ष निकलता है कि घर्षण गुणांक गतिशील वस्तु के भार पर निर्भर नहीं करता है।

एक और प्रयोग करो। प्रयोग करने के लिए लकड़ी और धातु के समान भार के गुटके लो। गुटकों को बारी-बारी से एक ही समतल पर समान रूप से सरकाओ। तुम देखोगे कि दोनों दशाओं में घर्षण गुणांक का मान समान नहीं आता। इसका आशय यह है कि घर्षण गुणांक का मान सरकने वाली वस्तु के पदार्थ पर निर्भर करता है।

अब फिर समान भार के लकड़ी के दो गुटके लो। इनमें से एक गुटके का सरकने वाला तल खुरदरा हो। इनको एक ही समतल धरातल पर समान रूप से सरकाओ। तुम देखोगे कि इन दोनों दशाओं में भी घर्षण गुणांक का मान समान नहीं आता। इसका आशय यह है कि घर्षण गुणांक सरकने वाली सतह की प्रकृति पर निर्भर करता है।

उपर्युक्त प्रयोगों से यह निष्कर्ष निकलता है कि दो तलों के मध्य घर्षण गुणांक दो बातों पर निर्भर करता है :

1. तल के पदार्थ पर।
2. तल की प्रकृति पर।

कुछ पदार्थों के सर्पी घर्षण गुणांक

लकड़ी पर लकड़ी	0·3 से 0·5
बरफ़ पर लकड़ी	0·035
स्टील पर स्टील	0·17
लोहे पर चमड़े की पट्टी	0·28
लकड़ी पर चमड़े की पट्टी	0·4
रबड़ का टायर कठोर भूमि पर	0·4 से 0·6

घर्षण बल वस्तु की गति की विपरीत दिशा में लगता है। अत: यदि किसी वस्तु को आगे की ओर चलाना है तो प्रारंभ में वस्तु की विपरीत दिशा में लगने वाले घर्षण बल से अधिक बल लगाना चाहिए। घर्षण सर्वव्यापी गुण है। साधारणतया यह समझा जाता है कि घर्षण केवल हानिकारक है, परंतु घर्षण के हानिकारक होते हुए भी थोड़ा घर्षण जीवन में उपयोगी भी है। यदि घर्षण बल न हो तो हम चल भी नहीं सकते। जब सड़क अधिक चिकनी हो जाती है तब हम फिसल जाते हैं। घर्षण बल के अभाव में मोटरकार, साइकिल, रेलगाड़ी आदि एक बार चलने के बाद रुकेंगी ही नहीं। घर्षण बल के बिना दैनिक जीवन असंभव है।

§ 11. प्रयोगात्मक कार्य (नं० 1)

घर्षण बल का मान ज्ञात करना।

उपकरण

लकड़ी का एक तख्ता, हुक सहित लकड़ी का एक गुटका, तीन समान भार (100 ग्रा० भा०) स्प्रिंग बैलेंस।

विधि

1. गुटके का भार ज्ञात करो।
2. गुटके को लकड़ी के तख़्ते पर रखो।

इस गुटके पर बारी-बारी एक भार दो, भार और फिर तीनों भार रखकर स्प्रिंग बैलेंस की सहायता से इस (गुटके) को एकसमान गति से खींचकर सर्पी घर्षण बल का मान ज्ञात करो।

3. प्रेक्षणों को निम्नांकित तालिका में लिखो।

क्र० सं०	भार सहित गुटके का भार	घर्षण बल	$\frac{\text{घर्षण बल}}{\text{कुल भार}}$ = घर्षण गुणांक	औसत घर्षण गुणांक

प्रश्न तथा अभ्यास

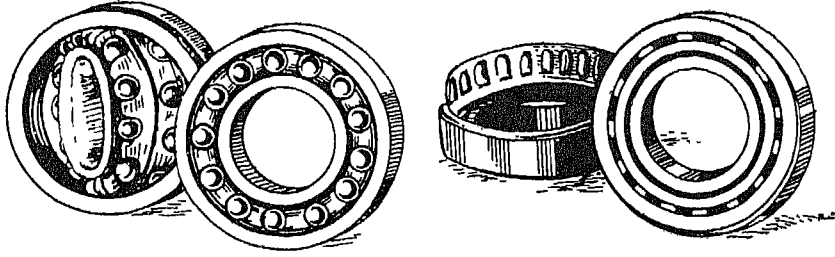
1. लोहे के गुटके को लकड़ी के तख़्ते पर एकसमान गति से चलाने पर निम्नलिखित प्रेक्षण प्राप्त हुए। औसत घर्षण गुणांक निकालो।

भार	घर्षण बल
2·0 कि० ग्रा० भा०	1·0 कि० ग्रा० भा०
3·0 कि० ग्रा० भा०	1·4 कि० ग्रा० भा०
4·0 कि० ग्रा० भा०	1·9 कि० ग्रा० भा०

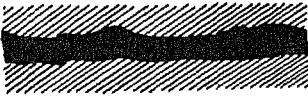
2. एक मालगाड़ी का भार 2500000 कि० ग्रा० भार है। यदि लोटनिक घर्षण गुणांक 0·003 हो तो गाड़ी को एकसमान गति से चलाने के लिए इंजन के बल की गणना करो।
3. 175 कि० ग्रा० भा० बल का इंजन एक मोटरकार को सड़क पर एकसमान गति से चला लेता है। यदि लोटनिक घर्षण गुणांक 0·04 हो तो मोटरकार का भार ज्ञात करो।

§ 12. घर्षण बल की उपयोगिता
(घर्षण को कम या अधिक कैसे किया जाता है)

तुम अब तक यह समझ गए होगे कि घर्षण हानिकारक होते हुए भी थोड़ा घर्षण जीवन में उपयोगी भी है। व्यवहार में घर्षण सुविधानुसार कम या अधिक करना होता है। उदाहरण के लिए चिकनी सड़क पर कभी-कभी मोटरकार का पहिया तो घूमता रहता है लेकिन कार आगे नहीं चलती। यह घर्षण के कम होने के कारण होता है। घर्षण को अधिक करने के लिए सड़क पर बालू बिछाई जाती है। पहियों को लहरदार बनाया जाता है। पहियों के ऊपर खुरदरी रस्सी लपेटी जाती है।

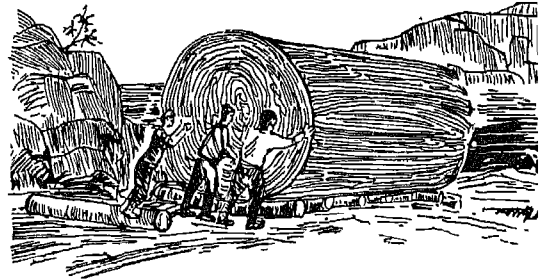
वर्कशाप में खराद की मशीन, आटा पीसने

चित्र 1.20 (अ) बॉल-बेयरिंग, (ब) रोलर-बेयरिंग

की चक्की तथा लकड़ी चीरने वाली मशीन आदि को एक पट्टे द्वारा चलाया जाता है। कभी-कभी पट्टा अधिक चिकना हो जाने के कारण घूमने वाले पहिए पर फिसलता रहता है परंतु पहिए को घुमाता नहीं है। फलतः मशीन नहीं चलती है। इसको रोकने के लिए पट्टे के ऊपर चिपचिपा पेस्ट (लेई, लेप) लगा दिया जाता है।

मशीनों में घर्षण बल गति में बाधा डालता है तथा घूमने वाले भाग घर्षण के कारण कट जाते हैं। घर्षण बल को कम करने के लिए दोनों तलों को चिकना बनाया जाता है। चिकने तलों में स्नेहक द्रव की सहायता से घर्षण को और कम कर दिया जाता है। चित्र 1.19 में सतह पर

चित्र 1.19 स्नेहक द्रव लगाने से दो सतहों के मध्य घर्षण कम हो जाता है।

स्नेहक द्रव लगाकर दिखाया गया है। स्नेहक द्रव के प्रयोग से घर्षण की मात्रा आठवें से लेकर दसवें भाग तक कम हो जाती है।

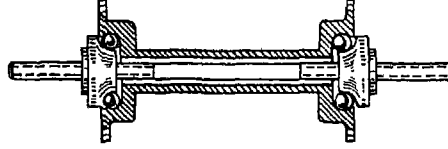
धुरी और पहिए के बीच घर्षण बल को कम करने के लिए बॉल-बेयरिंग (गोली-लाम) अथवा रोलर-बेयरिंग प्रयोग की जाती हैं। इन बेयरिंगों में धुरी के गिर्द इस्पात की चिकनी गोलियाँ या बेलन क्रम से बिठाए जाते हैं और पहिया इन्हीं के सहारे लुढ़कता है। घर्षण की मात्रा को और अधिक कम करने के लिए इनमें स्नेहक द्रव अथवा ग्रीज़ लगाया जाता है।

चित्र 1.20 (अ) में बॉल-बेयरिंग और चित्र 1.20 (ब) में रोलर-बेयरिंग दिखाई गई है। भारी वस्तुओं को सरकाने के लिए उनके नीचे बेलन रख दिए जाते है। इस तरह भारी वस्तु आसानी से सरक जाती है। चित्र 1.21 में कुछ मनुष्य एक

चित्र 1.21 रोलरों की सहायता से भारी लकड़ी के लट्ठे को सरकाया जा रहा है।

लकड़ी के बहुत भारी लट्ठे को उसके नीचे बेलन लगाकर सरकाते हुए दिखाए गए हैं।

बॉल-बेयरिंग अथवा रोलर-बेयरिंग लगाने से घर्षण की मात्रा 20 से लेकर 30वें भाग तक कम हो जाती है। मोटरकार, खराद मशीन, विद्युत मोटर, साइकिल आदि में इनका प्रयोग किया जाता है।

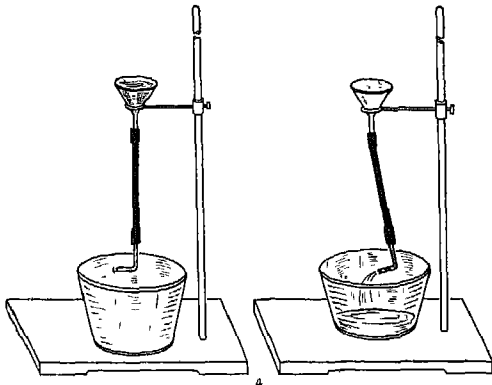
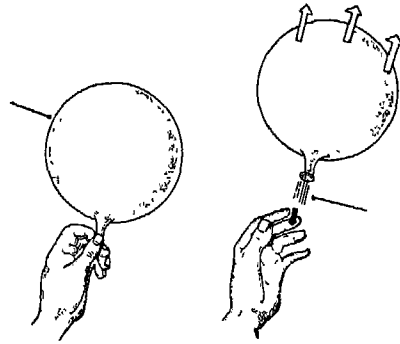
प्रश्न तथा अभ्यास

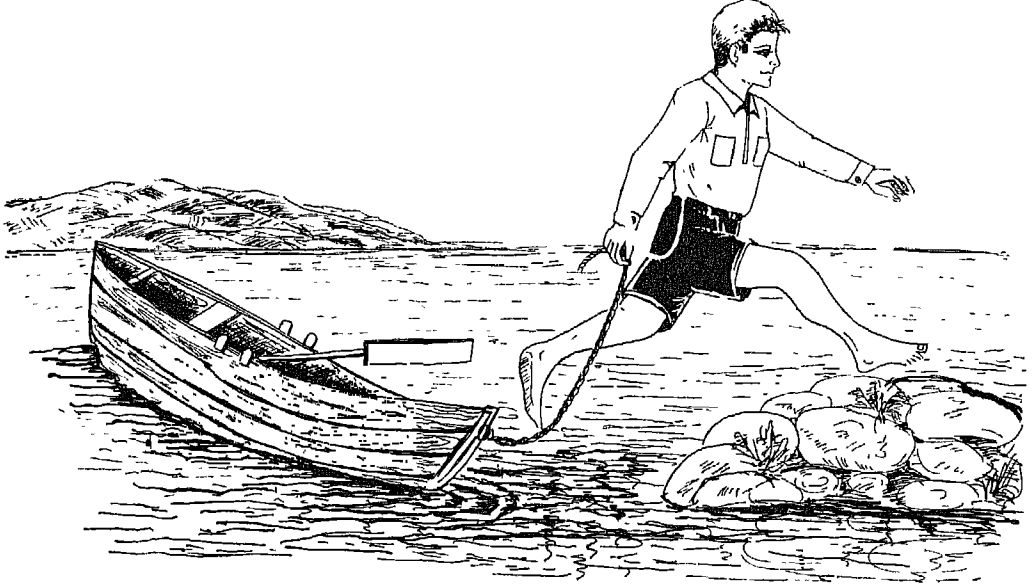
1. साइकिल और मोटरगाड़ी में प्रयोग की जाने वाली बेयरिंग का अध्ययन करो। बताओ कि वे किस-किस प्रकार की होती हैं। चित्र 1.22 में साइकिल के पैडलों में लगी हुई बॉल-बेयरिंग दिखाई गई है।

चित्र 1.22 साइकिल के पैडल में लगी बॉल-बेयरिंग

2. बढ़ई, बर्मा की नोक पर पहले मोम अथवा तेल लगा लेते हैं। बताओ कि वे ऐसा क्यों करते हैं।

§ 13. क्रिया और प्रतिक्रिया

चित्र 1.23 (अ) की तरह से प्रबंध करो। काँच की एक कीप (फनल) रबड़ की एक नली (ट्यूब) से जुड़ी है। रबड़ की नली के दूसरे सिरे पर समकोण रूप की काँच की एक नली जुड़ी है। काँच की नली के एक सिरे पर एक कार्क लगा है। कीप और नली में पानी भरो। काँच की नली के सिरे पर लगे कार्क को खींचो। तुम देखोगे कि कार्क के खींचते ही पानी बहने लगता है तथा नली पानी के बहाव की दिशा के विपरीत पीछे हट जाती है।

रबड़ के एक गुब्बारे में हवा भरो। इसकी टोंटी खोल कर छोड़ दो। गुब्बारा उस दिशा के विपरीत जाता है जिस दिशा से हवा निकलती है। गुब्बारे का हवा के निकलने की दिशा के विपरीत जाने का कारण यह है कि गुब्बारे के अंदर भरी हुई हवा जब निकलती है तब प्रतिक्रिया स्वरूप बल गुब्बारे को विपरीत दिशा में ले जाता है चित्र 1.23 (ब)।

चित्र 1.23 (अ) नली पर कार्क खुलने की प्रतिक्रिया।

चित्र 1.23 (ब) हवा से भरे हुए गुब्बारे में से हवा जब बाहर निकलती है तब गुब्बारा पीछे को चला जाता है।

जब तुम नाव से कूदकर उतरते हो तब तुम्हारे पैर के बल से नाव तो पीछे चली जाती है और तुम आगे चले जाते हो। तुम्हारा पैर नाव पर क्रिया करता है और नाव जो बल तुम्हारे पैर पर लगाती है उसे प्रतिक्रिया कहते हैं। क्रिया और प्रतिक्रिया दोनों साथ-साथ होती है (चित्र 1.24)।

चित्र 1.24 क्रिया के कारण नाव तो पीछे चली जाती है तथा प्रतिक्रिया के कारण कूदने वाला लड़का आगे चला जाता है।

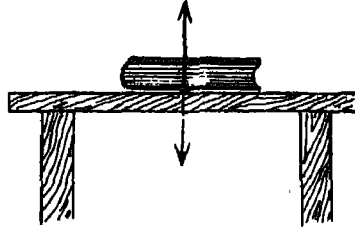
दो स्प्रिंग बैलेंस लो और मेज पर रखो। एक स्प्रिंग बैलेंस को हाथ से पकड़ लो और इसे दूसरे स्प्रिंग बैलेंस के हुक में डाल कर खींचो जैसा कि चित्र 1.25 में दिखाया गया है। दोनों स्प्रिंग बैलेंसों के पाठ्यांक समान आते हैं। दूसरा स्प्रिंग बैलेंस पहले को खींचता है और पहला स्प्रिंग बैलेंस दूसरे को खींचता है। दूसरे स्प्रिंग बैलेंस की पहले पर क्रिया और पहले की दूसरे पर प्रतिक्रिया कहलाती है। इस प्रयोग से यह सिद्ध होता है कि क्रिया और प्रतिक्रिया दोनों समान होती हैं तथा एक-दूसरे के विपरीत होती हैं। इस तथ्य को सर्वप्रथम न्यूटन ने ज्ञात किया था। आइजक न्यूटन का जन्म

चित्र 1.25 दो स्प्रिंग बैलेंस जिनसे क्रिया-प्रतिक्रिया का नियम दिखाया गया है।

सन् 1642 ई० में हुआ तथा मृत्यु सन् 1727 ई० में हुई । आप अपने समय के महान् भौतिकी वेत्ता होने के साथ-साथ उच्चकोटि के गणितज्ञ भी थे । गति के नियमों, प्रकाश की प्रकृति तथा उच्च स्तरीय गणित में आपने खोज की ।

चित्र 1.26 आइजक न्यूटन ।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. बताओ कि जब तुम चलते हो तब चलने पर क्रिया और प्रतिक्रिया किस प्रकार होती है ।
2. चित्र 1.27 में मेज पर एक पुस्तक पड़ी हुई है । पुस्तक मेज को दबाती है और मेज पुस्तक को दबाती है । क्रिया और प्रतिक्रिया की व्याख्या करो ।

चित्र 1.27 मेज पर रखी किताब पर क्रिया-प्रतिक्रिया का प्रदर्शन

3. रस्साकशी के खेल में जब दोनों ओर से खिलाड़ियों के बल बराबर लगे होते हैं तब बताओ कि रस्सी क्यों स्थिर रहती है ।

सारांश तथा निष्कर्ष

1. किसी एक वस्तु के, किसी दूसरी वस्तु के सापेक्ष, स्थान में लगातार परिवर्तन होना यांत्रिक गति कहलाता है ।
2. सब प्रकार की यांत्रिक गतियाँ और विराम स्थितियाँ एक-दूसरे के सापेक्ष होती हैं ।
3. एक वस्तु किसी दूसरी वस्तु की तुलना में गतिशील हो सकती है, परंतु वही वस्तु किसी अन्य वस्तु की तुलना में विराम अवस्था में भी हो सकती है ।
4. सब प्रकार की यांत्रिक गतियों का विभाजन तीन तरह से किया जा सकता है ।

(अ) गमनपथ (सरल रेखीय अथवा वक्रीय गमनपथ) के विचार से
(ब) चाल (असमान अथवा एकसमान चाल) के विचार से
(स) गति (स्थानांतरीय, घूर्णन और दोलन गति) के विचार से

5. स्थानांतरीय गति में वस्तु के सब भागों का गमनपथ एक-सा होता है तथा समान समय में प्रत्येक भाग समान दूरी तय करता है ।

6. वह गति, जिसमें वस्तु समान अल्पतम समय में समान दूरी तय करती है, एकसमान गति कहलाती है ।

7. वह गति, जिसमें वस्तु समान समय में असमान दूरी तय करती है, असमान गति कहलाती है ।

8 एक समान सरल रेखीय गति के लिए सूत्र

$v = \frac{s}{t}$; $s = v \times t$, और $t = \frac{s}{v}$

9. असमान सरल रेखीय गति के लिए सूत्र

v औसत $= \frac{s}{t}$; $s = v$ औसत $\times t$ और $t = \frac{s}{v \text{ औसत}}$

10. वस्तु की विराम अवस्था अथवा गतिशील अवस्था में ही रहने की प्रवृत्ति को वस्तु का जड़त्व कहते हैं ।

11. प्रकृति की सब वस्तुओं में जड़त्व होता है । जड़त्व का परिमाण वस्तु की संहति पर निर्भर करता है । यदि वस्तु की संहति अधिक होती है तो वस्तु का जड़त्व भी अधिक होता है, और संहति कम होती है तो जड़त्व कम होता है ।

12. जब तक किसी वस्तु पर बाहरी बल नहीं लगता तब तक वस्तु अपनी गतिशील अथवा विराम अवस्था में ही रहती है ।

13. यदि एक गतिशील वस्तु पर संतुलित बल लग रहे हों तो भी उनके लगने पर वस्तु एकसमान गति से चलती रहती है ।

14. यदि वस्तु की चाल में परिवर्तन होता है, अथवा उसकी विराम अवस्था की स्थिति में परिवर्तन होता है तो यह केवल किसी बाहरी बल के लगने के कारण ही होता है ।

15. एक वस्तु जब किसी दूसरे धरातल पर चलती है तब उसकी गति की दिशा की विपरीत दिशा में एक अवरोध बल लगता है, जिसे घर्षण बल कहते हैं ।

16. घर्षण,

(1) संबंधित दोनों सतहों के खुरदरेपन, तथा
(2) सतहों के अणुओं के मध्य आकर्षण बल के कारण होता है ।

17. घर्षण तीन प्रकार का होता है :
    (1) सर्पी घर्षण
    (2) लोटनिक घर्षण
    (3) स्थैतिक घर्षण
18. सर्पी घर्षण बल के नापने के लिए यह आवश्यक है कि वस्तु को एकसमान गति से चलाया जाए क्योंकि तब ही घर्षण, बल खींचने वाले बल के समान होता है।
    घर्षण बल = खिंचाव बल
19. सर्पी घर्षण, लोटनिक घर्षण से बहुत अधिक होता है।
20. घर्षण गुणांक
    (अ) सतह के पदार्थ पर, और
    (ब) सतह की प्रकृति (खुरदरेपन) पर निर्भर करता है।
    घर्षण गुणांक वस्तु के भार अथवा संबंधित वस्तुओं की सतहों के क्षेत्रफल पर निर्भर नहीं होता।
21. क्षैतिज समतल के सहारे की गति में घर्षण गुणांक के लिए सूत्र

$$\text{घर्षण गुणांक} = \frac{\text{घर्षण बल}}{\text{गतिशील वस्तु का भार}}$$

या $\boxed{\mu = \frac{F}{P}}$ और $\boxed{F = \mu \times P}$

22. दो वस्तुओं की क्रिया और प्रतिक्रिया परिमाण में समान होती हैं तथा एक ही सरल रेखा में एक दूसरे के विपरीत होती हैं।

बलों का संयोजन, वस्तुओं की साम्यावस्था

§ 14. बलों का संयोजन

न्यूटन के प्रथम नियम से तुम जानते हो कि यदि किसी वस्तु की गति अवस्था में अथवा विराम अवस्था में परिवर्तन होता है तो यह केवल उस वस्तु पर किसी बल के लगने के कारण होता है। किसी वस्तु पर बल के लगने से वस्तु की गति अवस्था में अथवा उसकी विराम अवस्था में परिवर्तन हो जाता है।

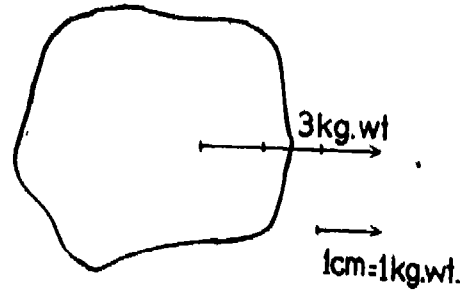
एक लटकी हुई (निलंबित) कमानी के एक सिरे पर लगे हुए भार के प्रभाव का अध्ययन करो। कमानी के सिरे पर भार लगाने से कमानी विस्तृत हो जाती है। ऐसा कमानी से लगे भार के बल के कारण होता है। इस प्रकार हम देखते हैं कि बल का दूसरा प्रभाव उस वस्तु को जिस पर यह लगता है, विकृत करना है।

अतः इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि बल के प्रभाव से वस्तु की चाल में परिवर्तन हो जाता है अथवा वस्तु विकृत हो जाती है।

प्रत्येक बल के पूर्ण ज्ञान के लिए निम्नलिखित तीन बातों की आवश्यकता होती है :

1. परिमाण
2. दिशा
3. लगाव बिन्दु

भौतिकी में हम प्रायः बल को ग्राफ़ीय विधि से दिखाते हैं। इसे एक सरल रेखा से दिखाते हैं जिसके एक सिरे पर तीर लगा हुआ होता है। बल का परिमाण सरल रेखा की लंबाई से प्रदर्शित करते हैं। बल की दिशा को तीर की दिशा से तथा लगाव बिन्दु को सरल रेखा के दूसरे सिरे के बिन्दु से दिखाते हैं।

उदाहरण के लिए यदि 3 कि० ग्रा० भार का बल एक वस्तु पर क्षैतिज दिशा में लगता है तो इसको 3 सें० मी० लंबी क्षैतिज सरल रेखा से दिखाया जा सकता है, जो कि वस्तु में लगे हुए लगाव बिन्दु से खींची गई हो (चित्र 2.1)। इस प्रकार इस रेखा की 1 से० मी० लंबाई, 1 कि० ग्रा० भार बल को प्रदर्शित करती है।

चित्र 2.1 बल का निरूपण

कभी-कभी वस्तु पर कई बल लगे होते हैं। जब वस्तु पर कई बल लग रहे होते हैं तब सब बलों के सम्मिलित प्रभाव के समान प्रभाव, एक बल से भी, पैदा किया जा सकता है।

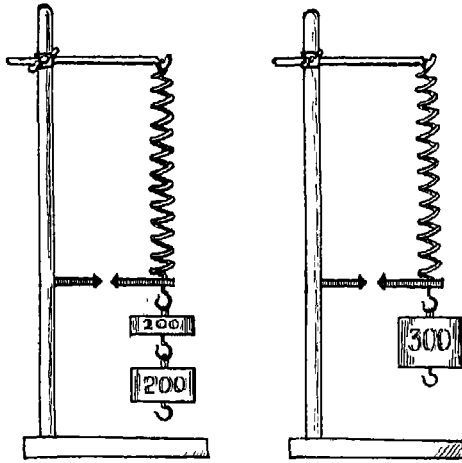
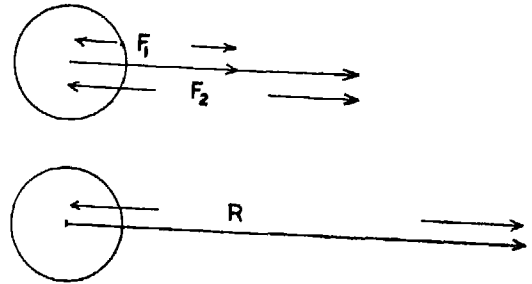
कई बलों के स्थान पर केवल एक ऐसा बल, जिसका प्रभाव सब सम्मिलित बलों के प्रभाव के समान हो, **प्राप्त बलों का संयोजन** कहलाता है।

भारी वस्तु को एक रस्सी से बाँध कर जब एक आदमी खींचता है तब वस्तु खिंचती नहीं है

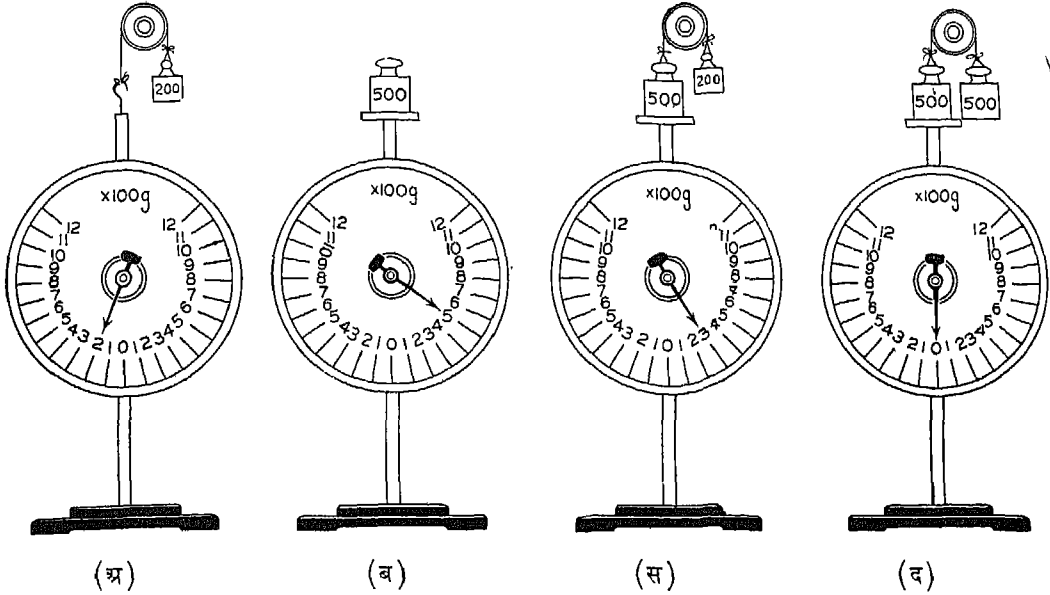
परंतु उसी रस्सी को जब तीन-चार आदमी मिलकर खींचते हैं तब वस्तु खिंच आती है। कोयला ढोने वाले हाथठेले में जब कोयला अधिक होता है तब तुमने देखा होगा कि आगे से एक आदमी ठेले को खींचता है और दूसरा आदमी पीछे से धकेलता है।

पहाड़ों पर जब रेल चढ़ाई पर चलती है तब गाड़ी के पीछे एक और इंजन लगा दिया जाता है। दोनों इंजनों के सम्मिलित बल के कारण रेल चढ़ाई पर सरलता से चली जाती है। मान लो कि पहला इंजन 14,000 कि० ग्रा० भा० का बल लगाता है और दूसरा 10,000 कि० ग्रा० भा० का बल लगाता है। रेलगाड़ी पर लगने वाले बल का मान 24,000 कि० ग्रा० भा० हुआ।

इस 24,000 कि० ग्रा० भा० के बल को **परिणामी बल** कहते हैं। परिणामी बल का प्रभाव सब लगे हुए बलों के सम्मिलित प्रभाव के समान होता है। 14,000 कि० ग्रा० भा० तथा 10,000 कि० ग्रा० भा० **अवयव बल** कहलाते हैं। उन बलों को जिनका संयोजन परिणामी बल ज्ञात करने में किया जाता है, अवयव बल कहते हैं। एक कमानी से (चित्र 2.2 अ) 100 ग्रा० भा० और 200 ग्रा० भा० लटकाओ। कमानी जिस स्थान तक खिंच आती है उस स्थान पर निशान लगाओ। दोनों भारों को हटा दो। अब कमानी से एक ऐसा भार लटकाओ, जो इसको पहले वाले निशान तक खींच लाए। प्रयोग करने पर तुम देखोगे कि यह भार 300 ग्रा० भा० होगा। (चित्र 2.2 ब)

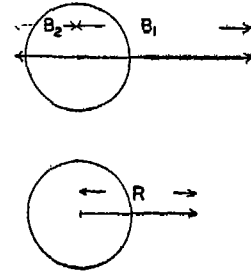
इस प्रयोग से यह सिद्ध होता है कि एक ही सरल रेखा और एक ही दिशा में लगे हुए बलों का **परिणामी बल दोनों बलों के योग के समान होता है। परिणामी बल अवयव बलों की दिशा में लगता है।**

चित्र 2.2 समान भार के बाट एक ही कमानी को बराबर खीचते है।
(अ) 100 ग्रा० भा० तथा 200 ग्रा० भा० के बलों का संयुक्त प्रभाव,
(ब) 300 ग्रा० भा० के बल का प्रभाव।

चित्र 2.3 एक ही सरल रेखा तथा एक ही दिशा मे लगे F_1 और F_2 बलों का परिणामी बल R दोनों बलों योग के बराबर होता है।

चित्र 2.3 में F_1 और F_2 दो अवयब बल एक ही सरल रेखा में और एक ही दिशा में लग रहे हैं। इनका परिणामी बल R से दिखाया गया है।

क्या तुम बता सकते हो कि खेलते समय एक ही रस्सी को जब दोनों ओर से पकड़ कर खींचा जाता है तब क्या होता है? रस्सी उसी ओर

चित्र 2.4 (अ) डायनेमोमीटर की ऊपरी छड़ से एक घिरनी द्वारा लटका हुआ 200 ग्रा० भा०। डायनेमोमीटर की सुई 200 ग्रा० भा० दिखा रही है।
(ब) डायनेमोमीटर की प्लेट पर रखा हुआ 500 ग्रा० भा०। सुई 500 ग्रा० भा० दिखा रही है।
(स) विपरीत दिशा मे लगे हुए दो बलों का परिणामी बल। सुई 300 ग्रा० भा० बता रही है।
(द) विपरीत दिशा में लगे हुए दो समान बलों का परिणामी बल शून्य होता है जैसा कि डायनेमोमीटर की सुई दिखा रही है।

खिंच जाती है जिस ओर अधिक बल लगा होता है। मान लो दो लड़के एक ही रस्सी को दोनों ओर से खींचते है। एक लड़का 10 कि० ग्रा० भा० बल लगाता है तथा दूसरा 15 कि० ग्रा० भा० बल लगाता है। रस्सी 15 कि० ग्रा० भा० वाले बल की दिशा में खिंच जाएगी। रस्सी को खींचने वाले बल का मान 5 कि० ग्रा० भा० होगा।

10 कि० ग्रा० भा० तथा 15 कि० ग्रा० भा० अवयव बल हैं। 5 कि० ग्रा० भा० इनका परिणामी बल है।

उपर्युक्त कथन से यह स्पष्ट है कि यदि दो बल एक ही सरल रेखा में परंतु विपरीत दिशा में लगे हों तो उनका परिणामी बल उन दोनों बलों के अंतर के समान होता है तथा परिणामी

चित्र 2.5 विपरीत दिशाओं में लगे दो बल B_1 और B_2 का परिणामी बल R उनके अंतर के बराबर होता है। यह परिणामी बल बड़े बल की दिशा में लगता है।

बल अधिक बल वाली दिशा में लगता है। इस तथ्य की पुष्टि के लिए निम्नलिखित प्रयोग करो।

डायनेमोमीटर की ऊपरी रॉड (छड़) से घिरनी द्वारा (चित्र 2.4 अ) 200 ग्रा० भा०

लटकाओ। अब डायनेमोमीटर के मंच (चित्र 2.4. ब) पर 500 ग्रा० भा० रखो। दोनों दशाओं में डायनेमोमीटर की सुई की स्थिति को ध्यान से देखो। चित्र 2.4 (स) के अनुसार 500 ग्रा० भा० को एक धागे से बाँधो। धागे को एक घिरनी पर से चढ़ा कर इसके दूसरे सिरे पर 200 ग्रा० भा० बाँधो। तुम देखोगे कि डायनेमोमीटर की सुई 300 ग्रा० भा० बताती है। 300 ग्रा० भा० दोनों भारों का अंतर है।

अब 200 ग्रा० भा० के स्थान पर 500 ग्रा० भा० (चित्र 2.4 द) लटकाओ। इस अवस्था में डायनेमोमीटर की सुई का पठन शून्य है। बताओ क्यों ?

इस प्रयोग से यह सिद्ध होता है कि **एक सरल रेखा में परंतु विपरीत दिशा में लगे हुए दो बलों का परिणामी बल उन दोनों बलों के अंतर के बराबर होता है। परिणामी बल अधिक बल वाली दिशा में लगता है।**

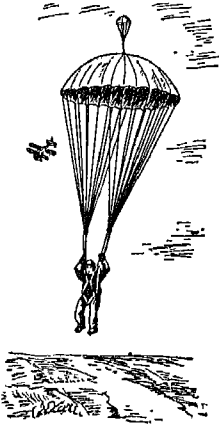
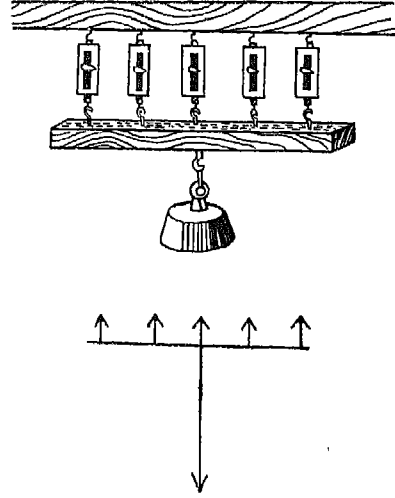
चित्र 2.5 में B_1 और B_2 दो अवयव बल एक ही सरल रेखा में परंतु विपरीत दिशाओं में लग रहे हैं। R इनका परिणामी बल है। R की दिशा B_1 की ओर है।

अभी तुमने एक सरल रेखा में लगे हुए बलों का परिणामित बल ज्ञात करना सीखा है। व्यवहार में कई बल, एक सरल रेखा में लगे न होकर एक ही दिशा में परंतु अलग-अलग सरल रेखाओं में लगे होते हैं। उनका परिणामी बल भी उन सब बलों के योग के बराबर होता है। उदाहरण के लिए किसी कार के इंजन में खराबी होने पर कार को धकेलने के लिए पाँच-छः आदमी कार के पीछे से कार पर बल लगाते हैं। कार पर सब आदमियों का बल एक सरल रेखा में नहीं लगा होता। वे सब अलग-अलग सरल रेखाओं में लेकिन एक ही दिशा में बल लगाते हैं।

इसी प्रकार बैलगाड़ी में जब सामान अधिक मात्रा मे लदा होता है तब दो बैलों के अलावा तुमने बैलों के आगे एक और बैल लगा हुआ देखा होगा। ऐसा केवल इसलिए किया जाता है कि अधिक भार को दो बैल कठिनाई से खींचते हैं। एक और बैल लगा देने से आसानी हो जाती है। बग्घियों में भी तुमने चार, छः अथवा आठ घोड़े लगे देखे होंगे।

प्रश्न तथा अभ्यास

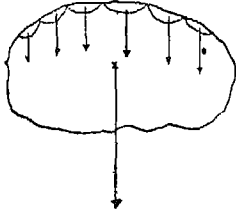
1. 20 कि० ग्रा० भार और 25 कि० ग्रा० भार के दो बल एक ही दिशा में लग रहे हैं। ग्राफ़ीय विधि द्वारा इन बलों को दिखाओ।
2. 15 कि० ग्रा० भार और 18 कि० ग्रा० भार परिमाण के दो बल विपरीत दिशा में लग रहे हैं। ग्राफ़ीय विधि द्वारा इनको दिखाओ।
3. चित्र 2.5 में दो बल B_1 और B_2 एक सरल रेखा में परंतु बिपरीत दिशाओं में लगे हैं। R इनका परिणामी बल है तथा B_1 की दिशा में है। बताओ B_1 और B_2 बलों में कौन-सा बड़ा है और क्यों ?
4. एक वस्तु पानी के धरातल पर तैर रही है। बताओ वस्तु पर कौन-कौन से बल लग रहे हैं। इनका परिणामी बल क्या है ? इन बलों के आरेख खींचों।

5. 25 कि० ग्रा० भा० की एक वस्तु पानी में पूरी तरह डूबी हुई है। वह वस्तु बरतन की पेंदी को भी स्पर्श नही करती। वस्तु का आयतन 3 घन डेसिमीटर है। उस बल की दिशा तथा परिमाण ज्ञात करो जो वस्तु को इसी अवस्था में रखे हुए है। बलों का आरेख खीचो।
6. चित्र 2.6 में पैराशूट से कूदने वाले व्यक्ति को तुम एकसमान गति से नीचे आते हुए देखते हो। कूदने वाले व्यक्ति तथा पैराशूट का 70 कि० ग्रा० भा० है। वायु का ऊपर की दिशा में लगा बल ज्ञात करो। आरेख खींच कर बलों को दिखाओ।

चित्र 2.6 पैराशूट की सहायता से एक आदमी जमीन पर उतर रहा है।

चित्र 2.7 स्थायी स्तंभ से एक-से पाँच स्प्रिंग बैलेंसों से एक भार लटका हुआ है।

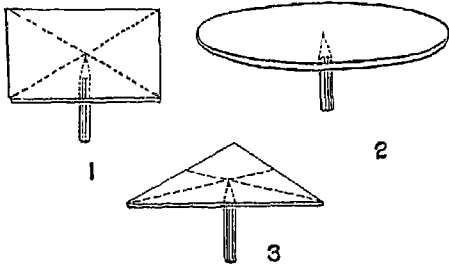
7. चित्र 2.7 में दो दंडों के बीच में एक जैसे पाँच स्प्रिंग बैलेंस लगे है। ऊपर वाला दंड स्थायी स्तंभ से जुड़ा है तथा नीचे वाला दंड स्वतंत्र है। नीचे वाले दंड से 2 कि० ग्रा० भा० लटका है। बताओ प्रत्येक स्प्रिंग बैलेंस का पठन क्या होगा। चित्र में लगे हुए बलों का आरेख भी दिखाया गया है।

§ 15. गुरुत्व केन्द्र

तुम जानते ही हो कि प्रत्येक वस्तु छोटे-छोटे कणों से मिल कर बनी हुई है। पृथ्वी प्रत्येक कण को अपने केन्द्र की ओर खींचती है। फलतः प्रत्येक कण का अपना भार होता है तथा सब कणों का भार ही समस्त वस्तु का भार होता है। प्रत्येक वस्तु का आकार पृथ्वी की अपेक्षा बहुत छोटा होता है। अतः उसके कणों को पृथ्वी के केन्द्र से मिलाने वाली रेखाएँ समांतर मानी जा

सकती हैं। इन सब समांतर बलों का परिणामी बल वस्तु के भार के बराबर होता है और नीचे की ओर ऊर्ध्वाधर दिशा में लगता है। यह परिणामी बल वस्तु के एक निश्चित बिन्दु पर लगता हुआ माना जा सकता है (चित्र 2.7 अ)। इसी बिन्दु को गुरुत्व केन्द्र कहते हैं।

चित्र 2.7 (अ) वस्तु के सब भागों पर लगे हुए गुरुत्व बलों का परिणामी बल।

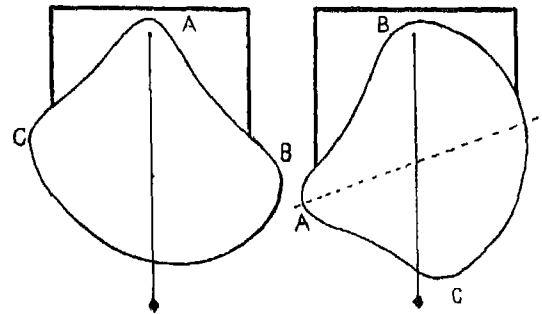
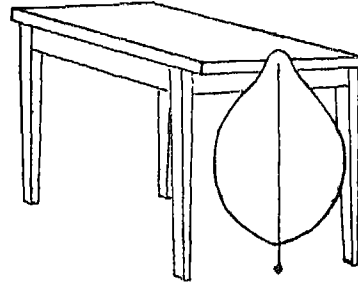
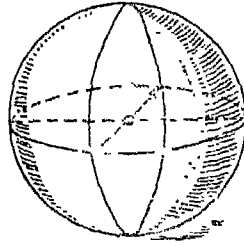
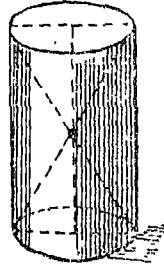
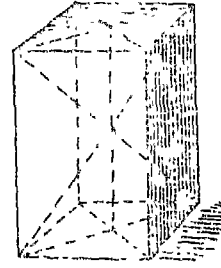
प्रत्येक वस्तु का अपना गुरुत्व केन्द्र होता है। गुरुत्व केन्द्र का अध्ययन करने के लिए कार्डबोर्ड के सम तथा विषम आकृति के कुछ टुकड़ों से निम्नलिखित प्रयोग करो :

1. कार्डबोर्ड का एक आयताकार टुकड़ा लो। इसके विकर्णों का कटान बिन्दु ज्ञात करो। कटान बिन्दु पर पेंसिल की नोक रखकर इस टुकड़े को साधो। तुम देखोगे कि कार्डबोर्ड का टुकड़ा पेंसिल की नोक पर सधा रहता है (चित्र 2.8)।

चित्र 2.8 गत्ते के (1) आयताकार,
(2) गोलाकार, और
(3) त्रिभुजाकार टुकड़ो को पेंसिल की नोक पर संतुलित किया गया है।

उपर्युक्त प्रयोग में वस्तु संतुलित (साम्य-वस्था) अवस्था में रहती है क्योंकि इस पर दो संतुलित बल कार्य करते हैं : एक वस्तु का भार तथा दूसरा पेंसिल का प्रतिक्रिया-बल।

2. कार्डबोर्ड का वृत्ताकार टुकड़ा लो। इसका केन्द्र ज्ञात करो। केन्द्र पर पेंसिल की नोक रखकर टुकड़े को साधो। तुम देखोगे कि यह वृत्ताकार टुकड़ा सधा रहता है (चित्र 2.8)।

3. अब कार्डबोर्ड का एक त्रिभुजाकार टुकड़ा लो। प्रत्येक शीर्ष से उनके सामने की रेखा के मध्य बिन्दु को मिलाती हुई रेखाएँ खींचो। इन तीनों रेखाओं का कटान बिन्दु ज्ञात करो। कटान बिन्दु पर पेंसिल की नोक रखकर इस त्रिभुजाकार टुकड़े को साधो। इस बार भी तुम देखोगे कि टुकड़ा सधा रहता है (चित्र 2.8)।

4. अब एक विषम आकृति का टुकड़ा लो।

चित्र 2.9 विषम आकृति वाले गत्ते के टुकड़े का गुरुत्व केन्द्र निकालना

चित्र 2.10 (अ) गोला, (ब) बेलन, और (स) छ. भुजाओं वाले प्रिज्म के गुरुत्व केन्द्रों को दिखाया गया है ।

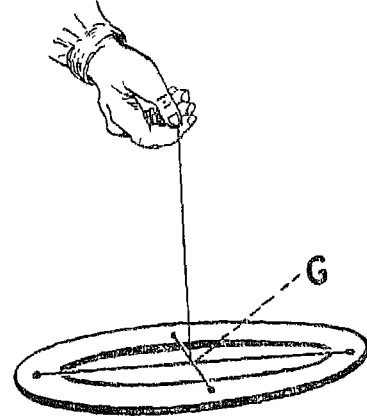
इसमें एक छेद करो। इसको पिन की सहायता से मेज़ में लगाकर स्वतंत्र छोड़ दो । इसी पिन से एक साहुल सूत्र बाँधो। साहुल सूत्र की स्थिति के साथ में एक रेखा खींचो जैसा कि चित्र 2.9 में दिखाया गया है।

अब कार्डबोर्ड के दूसरे किसी स्थान में छेद करके फिर इसी पिन द्वारा इसे पहले की तरह लटकाओ। पिन से साहुल सूत्र बाँधो तथा इसके साथ-साथ भी रेखा खींचो। इस प्रकार इन दोनों खींची गई रेखाओं का कटान बिन्दु ज्ञात करो। कटान बिन्दु पर पेंसिल की नोक रखकर इस विषम आकृति के टुकड़े को साधो।

उपर्युक्त इन सभी प्रयोगों में तुमने यह देखा कि इन सब टुकड़ों का एक ऐसा बिन्दु है जिस पर पेंसिल की नोक रखकर यदि टुकड़े को साधा जाए तो टुकड़ा सधा रहता है । इसी अभीष्ट बिन्दु को गुरुत्व केन्द्र कहते हैं। यह वह बिन्दु है, जिससे यदि कोई वस्तु लटकाई जाए तो वह साम्यावस्था में रहती है।

चित्र 2.10 में गोला, बेलन और छः भुजा वाले प्रिज्म के गुरुत्व केन्द्रों की स्थिति दिखाई गई है ।

कार्डबोर्ड के टुकड़ों को घुमा कर प्रयोग करो। प्रयोग करके बताओ कि गुरुत्व केन्द्र की स्थिति हर दशा में बदल जाती है अथवा एक ही रहती है।

एक बड़ा वृत्ताकार छल्ला लो जैसा कि चित्र 2.11 में दिखाया गया है। इस छल्ले के व्यासों

चित्र 2.11 गोलाकार छल्ले का गुरुत्व केन्द्र दिखाया गया है।

के साथ-साथ धागे बाँधो। जहाँ पर धागे मिलते हों उस स्थान से एक धागा बाँध कर छल्ले को लटकाओ। छल्ला संतुलित रहता है। व्यासों का कटान बिन्दु छल्ले का गुरुत्व केन्द्र है। इस प्रयोग से यह स्पष्ट है कि गुरुत्व केन्द्र वस्तु के बाहर भी हो सकता है।

§ 16. प्रयोगात्मक कार्य (नं० 2)

सपाट आकार वाली वस्तुओं का गुरुत्व केन्द्र निकालना :

उपकरण तथा सामग्री :

कार्डबोर्ड के सम तथा विषम आकृति के कुछ टुकड़े, धागा, पिन तथा एक साहुल सूत्र।

विधि :

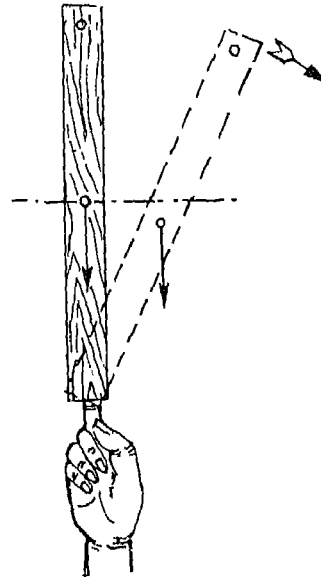
पुस्तक में वर्णित विषम आकृति के टुकड़े का गुरुत्व केन्द्र ज्ञात करने की विधि (4) के अनुसार कार्डबोर्ड के टुकड़ों का गुरुत्व केन्द्र ज्ञात करो। प्रत्येक टुकड़े के लिए ज्ञात गुरुत्व केन्द्र को किसी चूल (Pivot) पर रख कर देखो कि टुकड़ा संतुलित रहता है अथवा नहीं।

त्रिभुजाकार, चौकोर एवं वृत्ताकार टुकड़ों के गुरुत्व केन्द्र ज्यामितीय रीति से भी निकालो। दोनों विधियों से निकाले गए गुरुत्व केन्द्रों की सत्यता की परीक्षा करो।

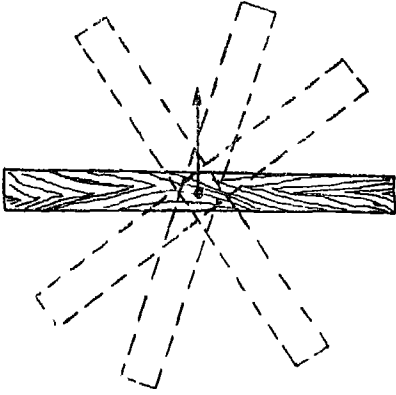
§ 17. साम्यावस्था

बल की क्रिया के प्रभाव में वस्तु स्थिर अथवा गतिशील अवस्था में हो सकती है। जब कोई वस्तु स्थिर अवस्था में होती है तब साधारणतः कहा जाता है कि वस्तु साम्यावस्था में है। साम्यावस्था में वस्तु तब ही होती है जबकि वस्तु पर लगे हुए सब बलों का प्रभाव शून्य होता है।

चित्र 2.12 पैमाने की स्थिर साम्यावस्था।

पैमाने को एक कील से लटकाओ (चित्र 2.12)। यह साम्यावस्था में होगा। इस पैमाने को एक ओर थोड़ा-सा हटाकर छोड़ दो। छोड़ने पर यह अपनी पूर्व अवस्था को ग्रहण कर लेता है। वस्तु की इस प्रकार की अवस्था को स्थिर साम्यावस्था कहते हैं। इस अवस्था में पैमाने का गुरुत्व केन्द्र G, निलंबन बिन्दु O के नीचे

चित्र 2.13 पैमाने की अस्थिर साम्यावस्था।

तथा उससे जाने वाली ऊर्ध्वाधर रेखा में होता है। जब पैमाने को स्थिर साम्यावस्था की स्थिति से हटाया जाता है तब इसका गुरुत्व केन्द्र अपनी पूर्व अवस्था से ऊपर उठ जाता है। पैमाना जब स्थिर साम्यावस्था में आता है तब गुरुत्व केन्द्र भी अपनी पहली अवस्था में आ जाता है।

अब पैमाने को अपनी उँगली पर साधो (चित्र 2.13)। पैमाना स्थिर रहता है परंतु थोड़े से ही धक्के से गिर जाता है और गिरने के पश्चात् अपनी पूर्व अवस्था में नहीं आता। इस प्रकार की साम्यावस्था अस्थिर साम्यावस्था कहलाती है। अस्थिर साम्यावस्था में वस्तु की स्थिति में थोड़ा परिवर्तन करने से उसका गुरुत्व केन्द्र पूर्व अवस्था से नीचे हो जाता है।

चित्र 2.14 उदासीन साम्यावस्था में पैमाना।

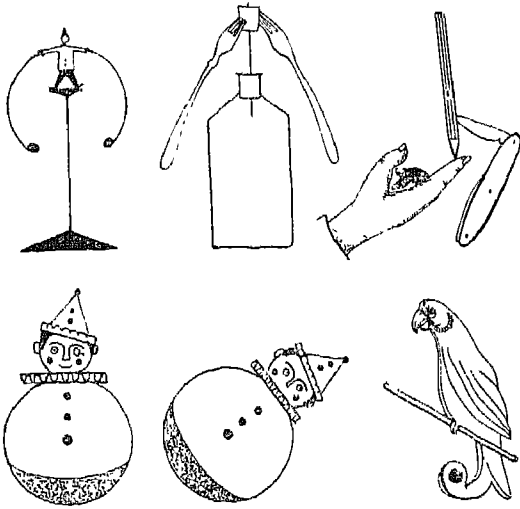
अब पैमाने के गुरुत्व केन्द्र से एक कील गुज़ार कर उसे टाँगो जैसा कि चित्र 2.14 में दिखाया गया है। पैमाने को धक्का देकर हटाओ। पैमाना अपनी स्थिति बदलता है लेकिन फिर साम्यावस्था में आ जाता है। पैमाने का गुरुत्व केन्द्र पूर्व अवस्था में ही रहता है। यह पहले से न ऊँचा होता है और न नीचा। पैमाने की इस प्रकार की साम्यावस्था को उदासीन साम्यावस्था कहते हैं।

किसी वस्तु की प्रारंभिक स्थिति में परिवर्तन करने पर यदि गुरुत्व केन्द्र ऊँचा हो जाता है तो वह वस्तु की स्थिर साम्यावस्था होती है और यदि नीचा हो जाता है तो अस्थिर साम्यावस्था होती है। जब गुरुत्व केन्द्र न ऊँचा हो और न नीचा, बल्कि अपनी पूर्व अवस्था के समकक्ष तल में ही रहता हो, तब उदासीन साम्यावस्था होती है।

चित्र 2.15 गोली को विभिन्न साम्यावस्थाओं में दिखाया गया है।

चित्र 2.15 में तीनों प्रकार की साम्यावस्थाएँ दिखाई गई हैं। स्थिर साम्यावस्था के सिद्धांत पर बच्चों के मनोरंजन के कई प्रकार के खिलौने बनाए जाते हैं। कुछ खिलौने चित्र 2.16 में दिखाए गए हैं।

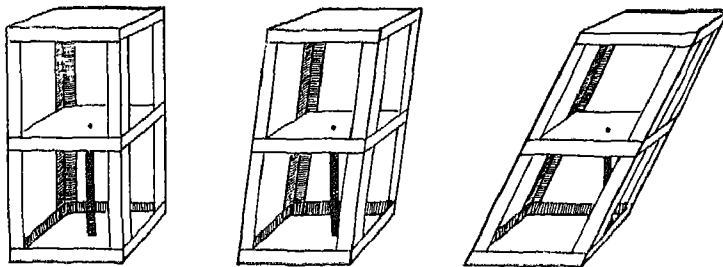
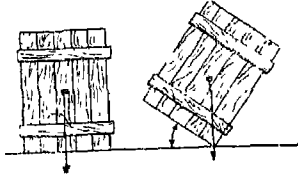
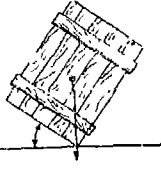
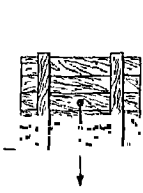
वस्तुओं का निर्माण इस प्रकार से किया जाता है कि वे स्थिर साम्यावस्था में रहें। मशीनों के घूमने वाले भाग इस प्रकार बनाए जाते हैं कि वे उदासीन साम्यावस्था में रहें। उदाहरण के लिए घिरनी का घूर्णाक्ष उसके गुरुत्व केन्द्र से गुज़रता है।

दैनिक जीवन में वस्तुएँ एक बिन्दु पर आधारित न होकर अधिकतर आधार पर आधारित होती हैं। आधार पर आधारित वस्तु की स्थिर साम्यावस्था के अध्ययन के लिए प्रयोग करो।

चित्र 2.16 स्थिर साम्यावस्था के सिद्धांत पर बने कुछ खिलौने।

चित्र 2.17 (अ) में दो मंजिला केज दिखाया गया है जिसके गुरुत्व केन्द्र से एक साहुल सूत्र लटका हुआ है। चित्र 2.17 (ब) के अनुसार केज की स्थिति बदलो। स्थिति बदलने पर इस बात को ध्यानपूर्वक देखो कि साहुल सूत्र की स्थिति में कैसे परिवर्तन होता है। साहुल सूत्र जब तक आधार से ही गुज़रता है तब तक केज स्थिर साम्यावस्था में रहता है। परंतु जब वह आधार के बाहर होकर गुजरता है, तब अस्थिर साम्यावस्था की स्थिति हो जाती है—चित्र 2.17 (स)।

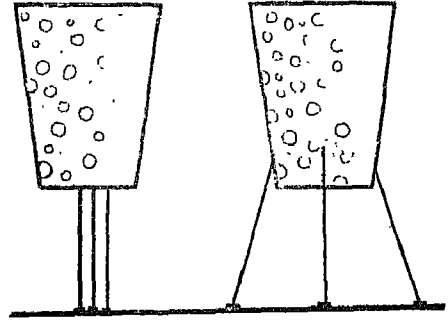
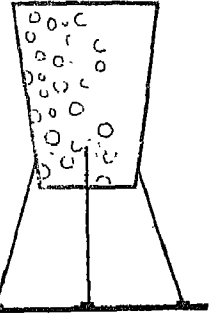
तुमने सरकस में आदमी को रस्सी पर चलते हुए देखा होगा। वह अपने हाथ में एक बड़ा बाँस अथवा छाता लेकर चलता है। बताओ वह ऐसा क्यों करता है। जब तुम पानी की एक भारी बालटी हाथ में लेकर चलते हो तब एक ओर को थोड़ा झुक कर चलते हो परंतु दोनों हाथों में यदि समान भार की बालटियाँ हों तो फिर सीधे चलते हो। इसका क्या कारण है ?

चित्र 2.18 (अ) में संदूक स्थिर अवस्था में है तथा तीर द्वारा इसके गुरुत्व केन्द्र को दिखाया गया है। चित्र 2 18 (ब) में इसे घुमा कर नई स्थिति में दिखाया गया है। इस स्थिति में यदि इसको थोड़ा और घुमाया जाए तो यह गिर पड़ेगा। संदूक अस्थिर साम्यावस्था में है। संदूक की आधार रेखा 2 सें० मी० है तथा अस्थिर साम्यावस्था में करने के लिए इसको 35° घुमाया गया है।

चित्र 2 18 (स) में यही संदूक बड़े आधार पर रखा दिखाया गया है। चित्र 2·18 (द) में इसकी अस्थिर साम्यावस्था दिखाई गई है। आधार रेखा 2·18 सें० मी० है और कोण का मान 53° है।

चित्र 2.17 किसी वस्तु की ऊर्ध्वाधर रेखा (गुरुत्व केन्द्र से जाने वाली) की स्थिति से उसकी स्थिरता निर्धारित होती है।

चित्र 2.18 वस्तुओं की स्थिरता उनके आधार के क्षेत्रफल के साथ-साथ बढ़ती है।

चित्र 2.18 (स) में दिखाए गए संदूक को चित्र 2.18 (अ) में दिखाए संदूक की अपेक्षा कठिनता से घुमाया जा सकता है । वस्तु की स्थिरता की जाँच इस बात से की जा सकती है कि वस्तु को स्थिर साम्यावस्था से अस्थिर साम्यावस्था में लाने के लिए कितने कोण से घुमाना है। जितना अधिक घुमाना पड़ेगा उतनी ही वस्तु अधिक स्थिर होगी तथा कोण का मान आधार पर निर्भर करता है । आधार अधिक होगा तो कोण भी अधिक होगा । आधार कम होगा तो कोण भी कम होगा । इससे स्पष्ट है कि वस्तु की स्थिरता वस्तु के आधार तथा गुरुत्व केन्द्र की स्थिति पर निर्भर करती है । साम्यावस्था की हर दशा में वस्तु का गुरुत्व केन्द्र सदैव नीचे आने का प्रयत्न करता है । अधिक स्थिरता लाने के लिए आधार को बड़ा बनाना चाहिए तथा गुरुत्व केन्द्र को निम्नतम ऊँचाई पर होना चाहिए । आधार को भारी बनाकर गुरुत्व केन्द्र को नीचा किया जाता है । उदाहरण के लिए स्कूल में काम आने वाली तुला का आधार बड़ा तथा भारी होता है ।

वस्तु जब एक आधार पर आधारित न होकर कुछ बिन्दुओं पर आधारित होती है तब उस दशा में उन सब बिन्दुओं से घिरे हुए स्थान को ही आधार माना जाता है । उदाहरण के लिए कैमरे की तिपाई का आधार तीनों टाँगों के द्वारा घिरा हुआ स्थान होता है । मेज का आधार मेज की चारों टाँगों द्वारा घिरा स्थान होता है ।

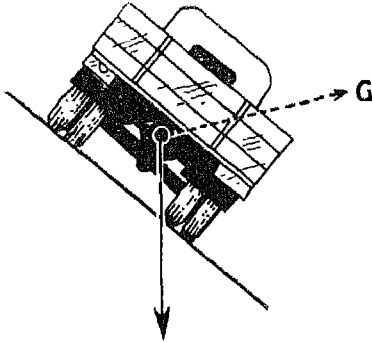
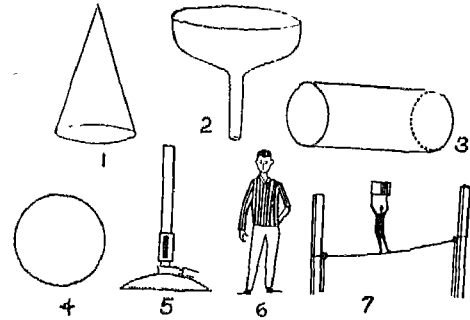
एक कार्क लो । इसमें चित्र 2.19 (अ) के अनुसार तीन पिन लगा कर मेज़ पर रखो । थोड़ा-सा धक्का दो । कार्क गिर पड़ेगी । अब इसी कार्क

चित्र 2.19 एक कार्क को अलग-अलग आधारों पर संतुलित किया गया है ।

को चित्र 2.19 (ब) के अनुसार तीन पिन लगाकर मेज़ पर रखो । थोड़ा धक्का दो । इस बार धक्का देने से कार्क गिरती नहीं है । इसका कारण बताओ ।

खड़े हुए मनुष्य की स्थिरता का पता उसके पैर के तलवों के क्षेत्रफल तथा उनके बीच के स्थान से लगाया जाता है । चिकने मार्ग पर

सुगमता से चलने के लिए चौड़े-चौड़े कदम रखे जाते हैं। खड़ा हुआ आदमी उस समय तक झुक सकता है जब तक कि उसके गुरुत्व केन्द्र से जाने वाली ऊर्ध्वाधर रेखा उसके पैरों के मध्य क्षेत्र से होकर जाए। यदि यह रेखा इस क्षेत्र के बाहर जाती है तो आदमी गिर पड़ता है।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. ताँगे वाला अधिक सवारियों को न तो पीछे और न आगे ही बैठने देता है। क्यों ?
2. बताओ बत्तख डगमगाती हुई क्यों चलती है।
3. एक-सी तीन गाड़ियों में अलग-अलग समान संहति की लोहे की छड़ें, ईंटें और लकड़ी के लट्ठे भरे हुए हैं। बताओ कौन-सी गाड़ी की स्थिरता अधिक है।
4. कुछ खाली और भरे संदूक एक गाड़ी में रख कर ले जाते हैं। बताओ उनको किस प्रकार लादना चाहिए।
5. क्या चित्र 2.20 में दिखाया गया ट्रक गिर पड़ेगा ? अपने उत्तर की व्याख्या करो। गुरुत्व केन्द्र G बिन्दु से दिखाया गया है।
6. गोल लोटा तथा घरों में काम आने वाली पतीली की बनावट का अध्ययन करो। बताओ इनके आधारों को गोलाकार बनाने का क्या लाभ है।
7. पुवाल से लदी गाड़ी ऊँची-नीची सड़क पर तनिक टेढ़ी हो जाने पर सहज ही उलट जाती है जबकि इतनी ही ऊँची मोटरगाड़ी ऐसी जगह पर नहीं उलटती। बताओ क्या कारण है।

चित्र 2.20 ढलान पर एक ट्रक की स्थिति जिसका गुरुत्व केन्द्र G द्वारा दिखाया गया है।

चित्र 2.21 कुछ वस्तुओं की विभिन्न साम्यावस्थाएँ।

8. चित्र 2.21 में कुछ वस्तुओं के चित्र बने हैं। इनके चित्रों को देखकर बताओ यह किस-किस प्रकार की साम्यावस्था में हैं। अगले पृष्ठ की तालिका में उत्तर लिखो।

चित्र	साम्यावस्था का नाम	संक्षेप में उत्तर की व्याख्या
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

सारांश और निष्कर्ष

1. किसी वस्तु की चाल में परिवर्तन अथवा उसके रूप या आकार में विकृति का कारण बल होता है।
2. यदि वस्तु असमान रूप से गतिशील है तो वस्तु पर कोई बल अवश्य लगा होता है।
3. वस्तु की विकृति का कारण बल का लगना होता है।
4. एक बल के पूर्ण ज्ञान के लिए निम्नांकित तीन बातों का ज्ञान आवश्यक होता है :
   (1) परिमाण,
   (2) दिशा, तथा
   (3) बल का लगाव बिन्दु।
5. एक बल के सब प्रभाव उपर्युक्त दी हुई तीनों बातों पर निर्भर होते हैं। यदि इनमें से किसी एक में भी परिवर्तन होता है तो बल का प्रभाव भी प्रायः परिवर्तित हो जाता है।
6. एक सरल रेखा के एक सिरे पर लगे हुए तीर की सहायता से बल को ग्राफीय विधि द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है। सरल रेखा की लंबाई से बल का परिमाण, तीर की दिशा से बल के लगने की दिशा तथा रेखा के दूसरे सिरे के बिन्दु से बल का लगाव बिन्दु प्रदर्शित होता है।
7. कई बलों के संयोजन से एक ऐसा बल ज्ञात कर लिया जाता है जिसका प्रभाव उस वस्तु पर लगे हुए सब बलों के सम्मिलित प्रभाव के समान होता है।

8. केवल एक ऐसा बल जो वस्तु पर सम्मिलित रूप से लगे हुए सब बलों के प्रभाव के समान ही प्रभाव डालता है, परिणामी बल कहलाता है ।
9. एक ही सरल रेखा और एक ही दिशा में लगे हुए दो बलों का परिणामी बल उन दोनों बलों के परिमाण के योग के समान होता है और परिणामी बल अवयव बलों की दिशा में लगता है ।
10. एक ही सरल रेखा मे परंतु विपरीत दिशाओं में लगे हुए दो बलों का परिणामी बल उन दोनों बलों के परिमाणों के अंतर के समान होता है । परिणामी बल अधिक बल की दिशा में लगता है ।
11. दो संतुलित बलों का परिणामी बल शून्य होता है ।
12. किसी वस्तु का गुरुत्व केन्द्र वस्तु के सब भागों पर लगे हुए सब बलों के परिणामी बल का लगाव बिन्दु होता है ।
13. वस्तु साम्यावस्था में तब ही होती हैं जबकि उस पर लगने वाले सब बलों का प्रभाव शून्य होता है ।
14. तीन प्रकार की साम्यावस्थाएँ होती हैं ।
15. (अ) स्थिर साम्यावस्था : किसी वस्तु की स्थिर साम्यावस्था वह होती है जिसमें उसका गुरुत्व केन्द्र, उसके घूर्णाक्ष के नीचे होता है ।
    (ब) अस्थिर साम्यावस्था : किसी वस्तु की अस्थिर साम्यावस्था वह होती है जिसमें उसका गुरुत्व केन्द्र उसके घूर्णाक्ष के ऊपर होता है ।
    (स) उदासीन साम्यावस्था : किसी वस्तु की उदासीन साम्यावस्था वह अवस्था होती है जिसमें उसका गुरुत्व केन्द्र, उसके घूर्णाक्ष पर ही होता है ।
16. विराम अवस्था में वस्तु की स्थिरता दो बातों पर निर्भर होती है :
    (अ) वस्तु के आधार के क्षेत्रफल, तथा
    (ब) वस्तु की ऊँचाई ।

कार्य और ऊर्जा

§ 18. यांत्रिक कार्य

यह तो तुम जानते ही हो कि कार्य शब्द से कुछ न कुछ होने का बोध होता है। मज़दूर का ईटें ढोना, बैलों का गाड़ी खींचना, कुएँ से बालटी खींचना, वायुयान का उड़ना, पढ़ना तथा पढ़ाना आदि विभिन्न कार्य हैं। जिस प्रकार क्रिकेट खेल में 'रन' (दौड़) शब्द का अपना एक विशेष अर्थ है उसी प्रकार विज्ञान मे कार्य शब्द का भी अपना विशेष अर्थ है। मज़दूर के ईटों के ढोने के कार्य का अर्थ है ईटों को एक स्थान से दूसरे स्थान पर पहुँचा देना। बैलों के गाड़ी खीचने का अर्थ है गाड़ी को एक जगह से दूसरी जगह ले जाना। इस प्रकार के कार्य भौतिक कार्य कहलाते हैं। पढ़ने अथवा सोचने में भी कार्य होता है परंतु यह भौतिक कार्य नहीं होता। अध्यापक अपने शिष्य को पढ़ाने में कार्य तो करता है परंतु सोचने की क्रिया (मनन प्रक्रिया) में जो कुछ होता है वह मानसिक कार्य का उदाहरण है। भौतिकी में केवल भौतिक कार्य का ही अध्ययन किया जाता है।

तुम जानते हो कि यथेष्ट बल लगाने से वस्तु की स्थिति में परिवर्तन हो जाता है। बल के कारण लगाव बिन्दु बल की दिशा में गति करने लगता है। भौतिक कार्य तब ही होता है जब बल के कारण लगाव बिन्दु अपना स्थान छोड़ कर दूसरे स्थान पर पहुँच जाता है। एक भारी बोझ को फ़र्श से ऊपर उठाओ और मेज़ पर रखो। पृथ्वी बोझ को अपनी ओर खींचती है परंतु तुम भुजाओं से पृथ्वी के आकर्षण बल के विरुद्ध बल लगा कर बोझ को मेज पर रख देते हो। बोझ नीचे से ऊपर पहुँच जाता है। इसको उठाने में तुमने कुछ कार्य किया।

अब बोझ को अपने हाथ में उठाओ और कुछ देर यथावत् साधे रहो। इस अवस्था में क्या तुम कुछ कार्य करते हो? यद्यपि बोझ को हाथ में साधे रहने के कारण तुम थकान अवश्य अनुभव करोगे किन्तु भौतिकी की भाषा में तुमने कोई कार्य नहीं किया क्योकि तुम्हारे हाथ का बल बोझ को केवल साधे रहा, बोझ की स्थिति में परिवर्तन नहीं हुआ।

इस प्रकार बल के लगने के कारण जब किसी वस्तु में विस्थापन होता है तब ही कार्य होता है, अन्यथा नहीं।

मज़दूर ईटें उठाने में गुरुत्वाकर्षण के विरुद्ध कार्य करता है। गाड़ी खीचने में बैल घर्षण बल के विरुद्ध कार्य करते हैं। घर्षण बल के बारे में तुम प्रथम अध्याय में पढ़ चुके हो। साइकिल को चलता रखने के लिए घर्षण बल के विपरीत बल लगाया जाता है। आकार परिवर्तन में कार्य होता है; जैसे छड़ को मोड़ना, लकड़ी चीरना, नई-नई आकृति के बर्तन बनाना आदि।

ऊपर दिए गए कार्य यांत्रिक कार्य कहलाते हैं।

उपर्युक्त विवेचन से यह स्पष्ट है कि यांत्रिक

कार्य तब ही होता है जबकि निम्नलिखित दो प्रतिबंध पूरे होते हैं : (1) वस्तु पर बल लगे, और (2) बल के लगने के कारण वस्तु में विस्थापन हो।

§ 19. कार्य का परिमाण तथा इकाई

कार्य कितना हुआ यह इस बात पर निर्भर करता है कि वस्तु पर कितना बल लगाया गया है तथा वस्तु में कितना विस्थापन हुआ है।

एक कि० ग्रा० भा० को 1 मीटर ऊँचा उठाओ। इसको उठाने में कुछ बल लगाना पड़ता है फलतः कुछ कार्य होता है। अब 5 कि० ग्रा० भा० को 1 मीटर की ऊँचाई तक उठाओ। इस भार को उठाने में पहले से 5 गुना अधिक कार्य होता है। दूसरे शब्दों में 5 कि० ग्रा० भा० को 1 मीटर की ऊँचाई तक उठाने में पहले किए गए कार्य का 5 गुना कार्य करना पड़ता है।

उपर्युक्त उदाहरण से यह फल निकलता है कि **एक निश्चित विस्थापन के लिए कार्य का परिमाण कार्य करने वाले बल के परिमाण के समानुपाती होता है।** अभिप्राय यह है कि अधिक कार्य अधिक बल से होता है और कम कार्य कम बल से होता है।

अब 1 कि० ग्रा० भा० को 3 मीटर की ऊँचाई तक उठाओ। इसमें पहले, दूसरे और तीसरे मीटर में उठाने के लिए किया गया कार्य समान होगा। अतः 1 कि० ग्रा० भा० को 3 मीटर की ऊँचाई तक उठाने में किया गया कार्य, 1 कि० ग्रा० भा० को 1 मीटर की ऊँचाई तक उठाने में किए गए कार्य का 3 गुना हुआ। इससे यह फल निकलता है कि **एक निश्चित बल द्वारा किया गया कार्य विस्थापन के समानुपाती होता है** यानी अधिक विस्थापन में अधिक कार्य और कम विस्थापन में कम कार्य होता है।

अतः कार्य का परिमाण लगाए गए बल और बल के लगने से होने वाले विस्थापन, दोनों के, गुणनफल के समानुपाती होता है।

वास्तव में कार्य का परिमाण, बल के परिमाण और विस्थापन के परिमाण के गुणनफल के बराबर होता है।

कार्य = बल × विस्थापन (दूरी)।

यदि कार्य को W से, बल को F से और विस्थापन (दूरी) को S से प्रदर्शित करें तो,

$$\mathbf{W = F \times S}$$

जब बल को कि० ग्रा० भार में और दूरी (विस्थापन) को मीटर में नापते हैं तब कार्य की माप कि० ग्रा० भार मीटर में होती है।

बल की कि० ग्रा० भार इकाई के अलावा एक इकाई और भी होती है जिसे न्यूटन कहते है। यह N से प्रदर्शित की जाती है।

$$1 \text{ न्यूटन} = \frac{1}{9{\cdot}8} \text{ कि० ग्रा० भा०}$$

अथवा

$9{\cdot}8$ न्यूटन = 1 कि० ग्रा० भा०

जब बल की इकाई न्यूटन होती है और विस्थापन (दूरी) की इकाई मीटर होती है तब कार्य की इकाई **जूल** होती है।

1 जूल = 1 न्यूटन × 1 मीटर

= 1 न्यूटन मीटर

1 कि० ग्रा० भा० मी० = $9{\cdot}8$ जूल

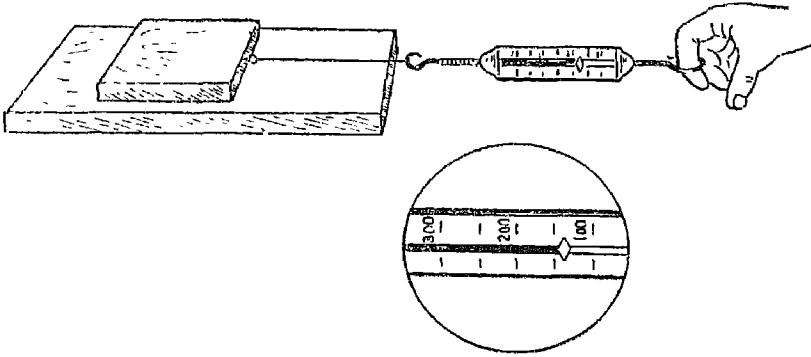
अथवा 1 जूल = $0{\cdot}102$ कि० ग्रा० भा० मी०

उदाहरण : 10 कि० ग्रा० भार को फ़र्श से 2 मीटर ऊँची अलमारी में रखने के लिए कार्य की गणना करो।

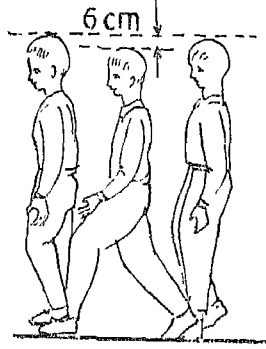
F=10 कि० ग्रा० भार	W=F×S
S=2 मीटर	=10 कि० ग्रा० भार×2 मीटर
W=?	=20 कि० ग्रा० भार मीटर

कार्य =20 कि० ग्रा० भार मीटर

प्रश्न तथा अभ्यास

1. चित्र 3·1 में दर्शित लकड़ी के गुटके को एक सपाट तल पर एक स्प्रिंग बैलेंस द्वारा एक समान रूप से 60 सें० मी० की दूरी तक खींचा जाता है। बल का मान स्प्रिंग बैलेंस की सुई बताती है जिसका मान नीचे वाले चित्र में तीसरे अंश पर दिखाया गया है। पैमाने के प्रत्येक अंश का मान 50 ग्रा० भा० है। कार्य की गणना करो।

चित्र 3.1 समतल सतह पर लकड़ी के एक गुटके को स्प्रिंग बैलेंस से खीचा गया है। चित्र मे नीचे स्प्रिंग बैलेंस के पैमाने को बढ़ाकर दिखाया गया है।

2. एक मोटरकार एकसमान गति से एक ऊँचे रास्ते पर चलती है। घर्षण बल का मान 100 कि० ग्रा० भार है। यदि कार 25 मीटर की दूरी तय करती है तो कार के इंजन द्वारा किए गए यात्रिक कार्य की गणना करो।
3. बताओ ग्रेनाइट के टुकड़े को, जिसका आयतन 0·5 मी^{3} है, 100 मी० की ऊँचाई तक उठाने में कितना कार्य करना होगा। ग्रेनाइट का विशिष्ट गुरुत्व 2·6 ग्रा० भा०/घ० सें० मी० है।
4. किसी भार को 1 मीटर की ऊँचाई तक सरकाने में किया गया कार्य तथा उसी भार को मेज़ पर 1 मीटर तक सरकाने में किया गया कार्य, क्या समान होंगे ? उत्तर की पूरी व्याख्या करो।
5. चलने में मुख्यत: शरीर को ऊँचा उठाने में कार्य होता है। प्रत्येक कदम में शरीर 6 सें० मी० ऊँचा-नीचा होता है। बताओ 45 कि० ग्रा० भा० का लड़का, जिसका

प्रत्येक कदम 60 सें० मी० का है, 1 कि० मी० की दूरी चलने में कितना कार्य करेगा। (चित्र 3.2)

चित्र 3.2 चलते समय आदमी का शरीर उपर-नीचे होता रहता है।

6. एक इजन द्वारा 39·2 जूल कार्य किया जाता है। इस कार्य का मान कि० ग्रा० भा० मीटर में बताओ।

§ 20. शक्ति

तुम जानते हो कि कार्य का परिमाण बल और विस्थापन के गुणनफल के बराबर होता है। तुम यह भी जानते हो कि एक ही कार्य को यदि विभिन्न विधियों से किया जाए तो कार्य अवधियाँ अलग-अलग होती हैं। उदाहरण के लिए एक मजदूर निर्माणाधीन भवन की छत पर कुछ ईंटों को ऊपर ले जाने में काफ़ी समय लगाता है परंतु यदि इसी कार्य को करने के लिए क्रेन का उपयोग किया जाए तो थोड़े ही समय में सब ईंटें ऊपर पहुँच जाती हैं।

ट्रैक्टर की सहायता से एक खेत जोतने में लगने वाला समय बैलों द्वारा जोतने में लगने वाले समय से बहुत कम होता है। जब हम कार्य को जल्दी करने पर ध्यान देते हैं तब प्रति इकाई समय में होने वाले कार्य का विचार आता है। इकाई समय में होने वाले कार्य के परिमाण को शक्ति कहते हैं यानी **कार्य करने की दर को शक्ति कहते हैं।**

$$\text{शक्ति} = \frac{\text{कार्य}}{\text{समय}}$$

यदि समय t में कार्य W होता है तो शक्ति P निम्नलिखित सूत्र से व्यक्त की जाती है :

$$\boxed{P = \frac{W}{t}}$$

कार्य की इकाई जब कि० ग्रा० भार मीटर होती है और समय की इकाई सेकंड होती है तब शक्ति की इकाई $\frac{\text{कि० ग्रा० भार मीटर}}{\text{सेकंड}}$ होती है।

कार्य की इकाई जब जूल होती है तब शक्ति

की इकाई वाट होती है। शक्ति की इस इकाई का नाम भाप के इंजन का आविष्कार करने वाले जेम्स वाट के नाम पर रखा गया है। वाट शक्ति की बहुत छोटी इकाई है।

$$1 \text{ वाट} = \frac{1 \text{ जूल}}{1 \text{ सेकंड}}$$

$$= \frac{0.102 \text{ कि० ग्रा० भा० मी०}}{\text{सेकंड}}$$

व्यवहार में शक्ति की इकाई किलोवाट होती है।

$$1 \text{ किलोवाट} = 1000 \text{ वाट} = \frac{1000 \text{ जूल}}{1 \text{ सेकंड}}$$

$$= \frac{102 \text{ कि० ग्रा० भा० मी०}}{\text{सेकंड}}$$

शक्ति की एक इकाई **अश्वशक्ति** भी है जो अधिकतर यूरोप में प्रचलित है। जेम्स वाट द्वारा भाप के इंजन का आविष्कार करने से पूर्व यूरोप के देशों में यांत्रिक कार्य करने के लिए अश्व (घोड़े) काम में लाए जाते थे।

$$1 \text{ अश्व शक्ति} = \frac{76 \text{ कि० ग्रा० भा० मी०}}{1 \text{ सेकंड}}$$

$$= 0{\cdot}746 \text{ कि० वा०}$$

कुछ प्राणी तथा मशीनों की शक्ति :

आदमी······(0·037–0·075) कि० वा०

घोड़ा······(0·30–0·45) कि० वा०

मोटरकार का इंजन···(5·8–23) कि० वा०

ट्रैक्टर इंजन···70 कि० वा०

भाप का इंजन···2200 कि० वा०

डीज़ल लोकोमोटिव···4100 कि० वा०

तुम जानते हो कि $\text{शक्ति} = \frac{\text{कार्य}}{\text{समय}}$

अत: कार्य = शक्ति × समय

$$\boxed{W = P \times t}$$

इस प्रकार मशीन द्वारा किए गए कार्य की गणना, शक्ति को कार्य की अवधि से गुणा करके की जाती है।

उदाहरण : एक ट्रैक्टर के इजन की शक्ति 90 अश्व शक्ति है। एक मिनट में इसके द्वारा किए जाने वाले कार्य की गणना करो। कार्य को कि० ग्रा० भा० मी० इकाई में लिखो।

$$\because \; 1 \text{ अ० श०} = \frac{76 \text{ कि० ग्रा० भा० मी०}}{1 \text{ सेकंड}}$$

$$\therefore \; 90 \text{ अ० श०} = \frac{90 \times 76 \text{ कि० ग्रा० भा० मी०}}{1 \text{ सेकंड}}$$

कार्य = शक्ति × समय

$$= \frac{90 \times 76 \text{ कि०ग्रा०भा०मी} \times 60 \text{ से०}}{1 \text{ सेकंड}}$$

$$= 90 \times 76 \times 60 \text{ कि० ग्रा० भा० मी०}$$

$$= 4{,}10{,}400 \text{ कि० ग्रा० भा० मी०}$$

मशीन की शक्ति की गणना एक और विधि से भी की जा सकती है यदि मशीन की एकसमान चाल तथा बल ज्ञात हो।

तुम जानते हो कि

$$\text{शक्ति} = \frac{\text{कार्य}}{\text{समय}}$$

और, कार्य = बल × विस्थापन

$$\text{अत:, शक्ति} = \frac{\text{बल} \times \text{विस्थापन}}{\text{समय}}$$

$$= \text{बल} \times \frac{\text{विस्थापन}}{\text{समय}}$$

$$\text{क्योंकि चाल} = \frac{\text{विस्थापन}}{\text{समय}}$$

∴ शक्ति = बल × चाल

यदि शक्ति को P से, बल को F से और एक समान चाल को V से दिखाएँ तो :

$$P = F \times V$$

यदि चाल असमान है तो औसत शक्ति

$$P\ (\text{औसत}) = F \times V\ (\text{औसत})$$

जहाँ P (औसत) औसत शक्ति को, F बल को और V औसत असमान चाल को दिखाते हैं

इस प्रकार यदि किसी मशीन की चाल और बल ज्ञात हों तो शक्ति की गणना उपर्युक्त सूत्र से की जा सकती है। किसी इंजन की शक्ति, बल और चाल के गुणनफल के बराबर होती है। इसलिए इंजन की शक्ति बढ़ने से मोटरकार की चाल बढ़ जाती है।

उदाहरण : एक ट्रैक्टर 1000 कि० ग्रा० भा० के बल से 1 सेकंड मे 2 मीटर चलता है। ट्रैक्टर की शक्ति की गणना करो।

$F = 1000$ कि० ग्रा० भा०

$V = 2 \frac{\text{मी०}}{\text{से०}}$

$P = ?$

$P = F \times V$

$= 1000$ कि० ग्रा० भा० $\times 2 \frac{\text{मी०}}{\text{से०}}$

$= 2000 \frac{\text{कि० ग्रा० भा० मी०}}{\text{से०}}$

शक्ति = बल × चाल, इसलिए इजन की शक्ति यथावत् रहने पर केवल चाल में परिवर्तन कर देने से ही इंजन के कर्षण बल में परिवर्तन हो जाता है। उदाहरण के लिए पहाड़ी मार्गो अथवा खराब सड़कों पर मोटरकार चलाते समय इंजन के खींचने वाले बल (कर्षण बल) का मान अधिक करने के लिए ड्राइवर मोटरकार की चाल तथानुकूल गियरों में परिवर्तन करके कम कर लेता है।

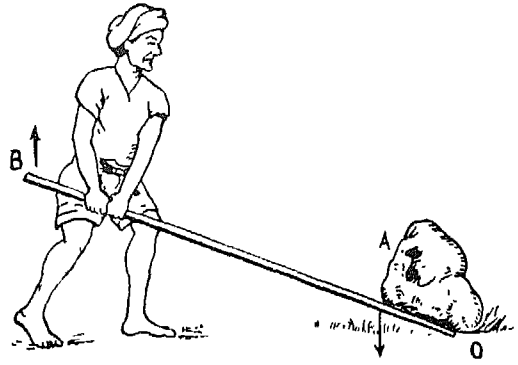
प्रश्न तथा अभ्यास

1. 10,000 वा० शक्ति वाली मोटर से 20 मिनट में किए जाने वाले कार्य की गणना करो।
2. 20 कि० ग्रा० भा० वाला लड़का 20 सेकंड में 10 मीटर ऊँची सीढ़ियों पर चढ़ता है। लड़के की शक्ति की गणना करो तथा प्राप्त राशि को अश्व शक्ति में बताओ।
3. 3000 अश्व शक्ति वाला एक डीज़ल लोकोमोटिव 18,000 कि० ग्रा० भा० कर्षण बल लगा सकता है। 500 मीटर की दूरी तय करने में लगने वाले समय की गणना करो।
4. एक मनुष्य 2 घंटे में 10,000 कदम क्षैतिज दिशा में चलता है तथा प्रत्येक कदम में वह 4 कि० ग्रा० भा० मी० कार्य करता है। मनुष्य की शक्ति की गणना करो।

§ 21. साधारण मशीनें

उत्तोलक

कार्य तथा कार्य की माप के विषय में तुम जानते हो। कार्य को सरलता से तथा शीघ्र करने के लिए मशीनों का प्रयोग किया जाता है। ट्रैक्टर, घिरनी, साइकिल, मोटरकार, क्रेन, वायुयान आदि मशीनें हमारे दैनिक जीवन के अंग है जिनकी सहायता से हम थोड़ा-सा बल लगा

चित्र 3.3 छड़ के एक सिरे पर आदमी नीचे की ओर बल लगा रहा है।

चित्र 3.4 छड़ के एक सिरे पर रखे हुए बोझ को ऊपर उठाने के लिए आदमी छड़ के दूसरे सिरे पर ऊपर की ओर बल लगा रहा है।

कर ऐसा कार्य कर सकते हैं जो बिना इनके अधिक बल लगाने से होता है।

यदि तुम बड़ी-बड़ी मशीनों की बनावट का अध्ययन करो तो तुम यह पाओगे कि ये बड़ी-बड़ी मशीनें कुछ सरल मशीनों के योग से बनी होती है। इनमें से कुछ सरल मशीनें निम्नलिखित है :

(क) उत्तोलक (ख) बेलन चर्खी

(ग) घिरनी (घ) नतसमतल

उत्तोलक प्राचीन काल से प्रयोग की जाने वाली मशीनों में सबसे साधारण मशीन है। उत्तोलक, एक निश्चित बिन्दु के, जिसे आलंब कहते हैं, चारों ओर घूम सकने वाली एक दृढ़ छड़ होती है। चित्र 3.3 में एक आदमी छड़ को नीचे की ओर दबाकर छड़ के एक सिरे पर बल लगा रहा है।

उत्तोलक पर कार्य करने वाले बल इसको इसकी घूर्ण अक्ष के दक्षिणावर्त तथा बामावर्त दिशाओं में घुमा सकते हैं। चित्र 3.4 में बोझ को उठाने के ध्येय से आदमी बल ऊपर की ओर लगा रहा है। चित्र 3.3 और 3.4 में यदि तुम आलंब की स्थिति का अध्ययन करो तो तुम देखोगे कि चित्र 3.3 मे दो बल A और B एक ही दिशा में लग रहे हैं और आलंब बिन्दु 'O' बीच में है। चित्र 3.4 में A और B बल विपरीत दिशाओं में लग रहे है तथा आलंब बिन्दु 'O' एक सिरे पर है।

बल की क्रिया-रेखा और आलंब तक की लंबवत् दूरी को उत्तोलक भुजा कहते है।

§ 22. बलघूर्ण

क्या तुमने कभी दरवाज़े को खोलने की क्रिया में किवाड़ के घूमने पर ध्यानपूर्वक विचार किया है ? किवाड़ क़ब्ज़े के गिर्द घूमता है। किवाड़ को घुमाने के लिए यदि बल क़ब्ज़े के पास लगाया जाता है तो अधिक बल लगाना पड़ता है। परंतु यदि बल क़ब्जे से दूर लगाया जाए तो कम बल से ही किवाड़ आसानी से घूम जाता है। इस प्रकार बल का घुमाने वाला प्रभाव, बल के

परिमाण तथा बल की क्रिया-रेखा और आलंब के बीच की लांबिक दूरी पर निर्भर करता है। घूर्णनगति पैदा करने वाले बल का यह प्रभाव **बलघूर्ण** कहलाता है। यह बलघूर्ण, बल तथा उत्तोलक भुजा के गुणनफल के बराबर होता है।

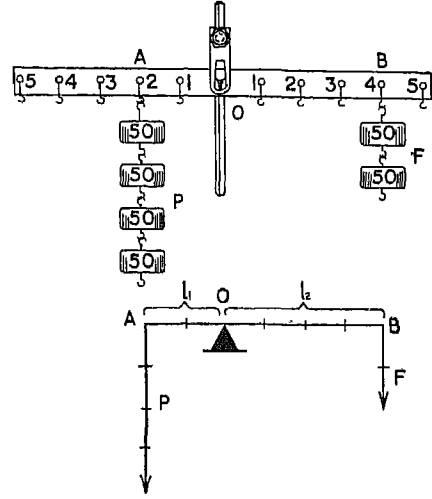
यदि बलघूर्ण को M से, बल को F से और उत्तोलक भुजा को l से प्रदर्शित करें तो

$$\mathbf{M}=\mathbf{F}\times l$$

उत्तोलक पर लगे बलों का संतुलन : प्रायः उत्तोलक का उपयोग कम बल लगा करके अधिक बोझ उठाने में किया जाता है। आलंब से निश्चित दूरी पर बल लगा करके बोझ को आसानी से उठा लिया जाता है। जब उत्तोलक पर लगे बल इस प्रकार हों कि उत्तोलक पृथ्वी के धरातल के समांतर यानी क्षैतिज अवस्था में हो तब उत्तोलक को संतुलित अवस्था में कहा जाता है।

उत्तोलक की संतुलित अवस्था के अध्ययन के लिए निम्नलिखित प्रयोग करो :

एक उत्तोलक (चित्र 3.5) पर आलंब से 20 सें० मी० की दूरी पर 200 ग्रा० भा० लटकाओ। इसको 100 ग्रा० भा० से संतुलन करने का प्रयास करो। तुम देखोगे कि जब 100 ग्रा० भा० आलंब के दूसरी ओर 40 सें० मी० की दूरी पर होता है तब उत्तोलक संतुलित होता है। फिर इसी 200 ग्रा० भा० को आलंब से 10 सें० मी० की दूरी पर रखो तथा 50 ग्रा० भा० से संतुलित करने का प्रयास करो। तुम देखोगे कि आलंब से इस भार को 40 सें० मी० की दूरी पर रखना पड़ता है।

अब फिर 50 ग्रा० भा० को आलंब से 30 सें० मी० की दूरी पर रखो तथा 150 ग्रा० भा० से संतुलित करो। तुम देखोगे कि 150 ग्रा० भा० को आलंब से 10 सें० मी० की दूरी पर रखना पड़ता है।

चित्र 3.5 संतुलन में एक उत्तोलक जिसका आलंब 'O' है। इसकी OA भुजा, P बल की भुजा है और OB भुजा, F बल की भुजा है।

उपर्युक्त प्रयोग के प्रेक्षण पृष्ठ 51 में दी गई तालिका में लिखे हुए हैं।

इस प्रयोग से यह फल निकलता है कि जब उत्तोलक संतुलित अवस्था में होता है तब दक्षिणावर्त और बामावर्त दिशाओं के बलघूर्ण बराबर होते हैं। यदि एक बल दूसरे का आधा हो तो इसकी उत्तोलक भुजा दूसरे बल की उत्तोलक भुजा से दुगुनी होती है। जैसे 200 ग्रा० भा० की उत्तोलक भुजा 20 सें० मी० है और 100 ग्रा० भा० की उत्तोलक भुजा 40 सें० मी० है। जब एक बल दूसरे बल से चौथाई होता है तब उत्तोलक भुजा दूसरी से चौगुनी होती है। जैसे 200 ग्रा० भा० की उत्तोलक भुजा 10 सें० मी० है और 50 ग्रा० भा० की उत्तोलक भुजा 40 सें० मी० है।

इस प्रकार जब दक्षिणावर्त बलघूर्ण, बामावर्त बलघूर्ण के बराबर होता है तब उत्तोलक संतुलित अवस्था में होता है।

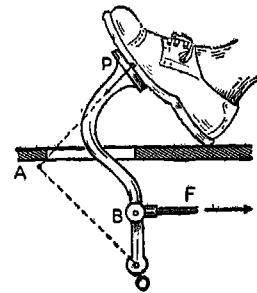
उत्तोलक को दक्षिणावर्त दिशा में घुमाने वाला बलघूर्ण			उत्तोलक को वामावर्त दिशा में घुमाने वाला बलघूर्ण		
बल	उत्तोलक भुजा	बल × उत्तोलक भुजा (= बलघूर्ण)	बल	उत्तोलक भुजा	बल × उत्तोलक भुजा (= बलघूर्ण)
200 ग्रा० भा०	20 सें० मी०	4000 ग्रा० भा० सें० मी०	100 ग्रा० भा०	40 सें० मी०	4000 ग्रा० भा० सें० मी०
200 ग्रा० भा०	10 सें० मी०	2000 ग्रा० भा० सें० मी०	50 ग्रा० भा०	40 सें० मी०	2000 ग्रा० भा० सें० मी०
50 ग्रा० भा०	30 सें० मी०	1500 ग्रा० भा० सें० मी०	150 ग्रा० भा०	10 सें० मी०	1500 ग्रा० भा० सें० मी०

चित्र 3.6 संतुलन अवस्था में एक उत्तोलक जिस पर दो बल A_1 और B_1, आलंब 'O' के एक ही ओर लगे है।

इसी प्रकार का प्रयोग चित्र 3.6 में दिखाए गए प्रबध के अनुसार करो। इस उत्तोलक में आलब उत्तोलक के एक सिरे पर है और बल विपरीत दिशाओं में लगे हैं। प्रयोग करने के बाद तुम इस निष्कर्ष पर पहुँचोगे कि उत्तोलक की संतुलित अवस्था में दक्षिणावर्त बलघूर्ण, बामावर्त बलघूर्ण के बराबर होता है।

दो बल P और F, जिनकी उत्तोलक भुजाएँ क्रमशः l_1 और l_2 हैं एक उत्तोलक पर लगे हैं तथा उत्तोलक संतुलित अवस्था में है (चित्र 3.5)।

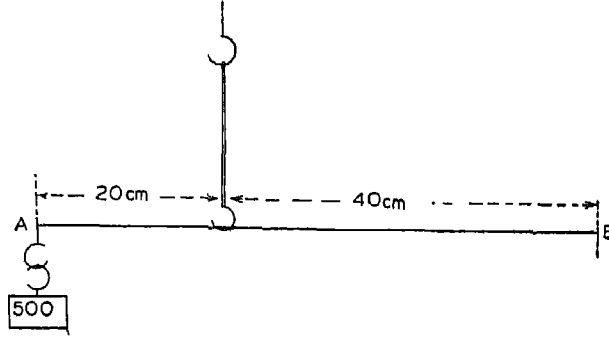
अतः $P \times l_1 = F \times l_2$

शायद तुम यह सोच सकते हो कि यह कथित नियम उन उत्तोलकों के लिए ही सत्य है जिनका रूप सीधे छड़ के रूप का हो। परंतु ऐसा

चित्र 3.7 मोटरकार का ब्रेक पैडल।

नहीं है। यह नियम प्रत्येक आकृति के उत्तोलक के लिए सत्य है। इस संदर्भ में केवल एक बात याद रखनी है कि उत्तोलक भुजा, आलंब और बल की क्रिया-रेखा के बीच की लंबवत् दूरी होती है।

मोटरकार का ब्रेक पैडल चित्र 3.7 में दिखाया गया है। ब्रेक पर लगा बल P से दिखाया गया है। O और PA के बीच की लंबवत् दूरी OA है। यही बल की उत्तोलक भुजा है। इसी प्रकार बल F की उत्तोलक भुजा OB है।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. एक उत्तोलक पर 75 ग्रा० भा० आलंब से 12 सें० मी० की दूरी पर लगा हुआ है। आलंब से 15 सें० मी० की दूरी पर रखने के लिए आवश्यक भार की गणना करो जो उत्तोलक को सतुलित अवस्था मे रख सके।
2. सी-सॉ में बलघूर्ण की उपयोगिता आरेख खींचकर समझाओ।
3. चित्र 3.8 में एक पैमाना लटका हुआ है। A बिन्दु पर 500 ग्रा० भा० लटका है। B बिन्दु पर आवश्यक भार की गणना करो जो पैमाने को संतुलन में रख सके।

चित्र 3.8 मीटर पैमाने को एक टेक से लटकाया गया है। इसके A सिरे पर 500 ग्रा० भा० लटकाया गया है।

4. स्पैनर (हथकल) की सहायता से ढिबरी को खोलना क्यों आसान है ?
5. दैनिक जीवन में उपयोगी कुछ सामान्य उत्तोलकों के नाम बताओ।

§ 23. उत्तोलक के उपयोग से कार्य में कोई लाभ नहीं होता है

तुम जानते हो कि उत्तोलक कार्य करने में सहायता करते हैं। इनकी सहायता से बल का लगाव बिन्दु बदल कर ऐसे स्थान पर लाया जा सकता है जो सुविधाजनक और अनुकूल हो। इनके उपयोग से कम बल लगा करके आसानी से कार्य किया जाता है। अब विचारणीय प्रश्न यह है कि क्या उत्तोलक कार्य में कुछ बचत करते हैं। कहने का अभिप्राय यह है कि उत्तोलक के उपयोग से जब कम बल लगा कर अधिक बल से होने वाला कार्य कर लिया जाता है तब क्या कम कार्य करके अधिक कार्य प्राप्त होता है ? उत्तोलक के उपयोग से कार्य में कोई लाभ होता है अथवा नहीं, इस बात की जाँच के लिए एक प्रयोग

1 कि० ग्रा० भा० को 0·1 मीटर की ऊँचाई तक उठाओ।

उठाने मे किया गया कार्य

=1 कि० ग्रा० भा०×0·1 मी०

=0·1 कि० ग्रा० भा० मी०

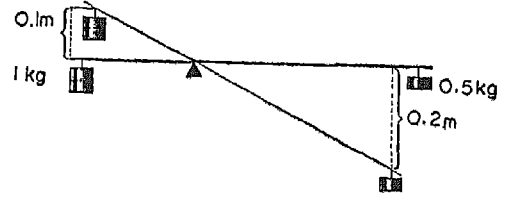
इसी कार्य को उत्तोलक की सहायता से करो। एक ओर 1 कि० ग्रा० भा० लटकाओ तथा आलब के दूसरी ओर 0·5 कि० ग्रा० भा० से उत्तोलक को संतुलित करो। 0 5 कि० ग्रा० भा० को नीचे दबाकर 1 कि० ग्रा० भा० को 0·1 मीटर की ऊँचाई तक उठाओ। तुम देखोगे कि तुम्हें 0·5 कि० ग्रा० भा० को 0·! मीटर नीचे करना पड़ता है (चित्र 3.9)।

0·5 कि० ग्रा० भा० को 0 2 मी० नीचे करने में किया गया

कार्य=0·5 कि० ग्रा० भा० ×0·2 मी०

=0·1 कि० ग्रा० भा० मी०

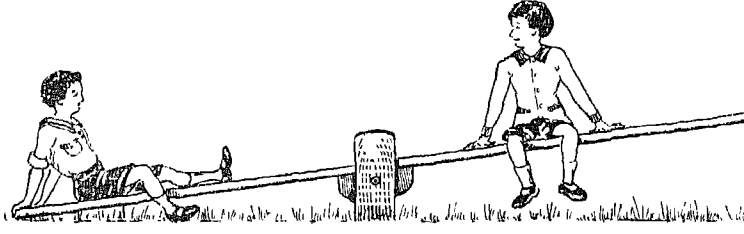
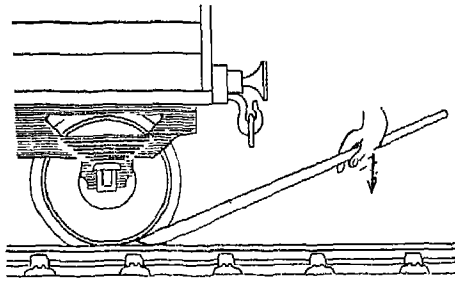
इस प्रकार उत्तोलक (लीवर) द्वारा किए गए कार्य का परिमाण उस पर किए गए कार्य के परिमाण के समान है।

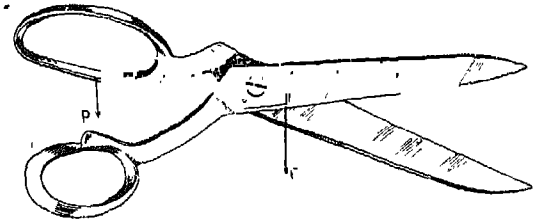
कार्य दोनो दशाओं में समान ही हुआ। उत्तोलक के उपयोग से केवल यह लाभ हुआ कि 0·5 कि० ग्रा० भा० बल से 1 कि० ग्रा० भा० के बल को संतुलित कर लिया गया। परंतु 0·5 कि०

चित्र 3 9 उत्तोलक इस्तेमाल करने से कार्य में कोई बचत नही होती है।

ग्रा० भा० के बल को आलंब से 1 कि० ग्रा० भा० के बल और आलंब के बीच की दूरी के दूने पर लगाना पड़ा तथा 1 कि० ग्रा० भा० को 0·1 मीटर की ऊँचाई तक उठाने के लिए 0·5 कि० ग्रा० भा० को 0 2 मीटर नीचे करना पड़ा। इस प्रकार उत्तोलक की बड़ी भुजा पर कम बल लगा करके अधिक भार उठा लिया गया। इस प्रकार बल में तो लाभ हुआ परंतु विस्थापन में उतनी ही हानि हुई। जब 1 कि० ग्रा० भा०, 0·1 मीटर उठता है, तब 0·2 कि० ग्रा० भा०, 0·2 मीटर नीचे हो जाता है।

इसी प्रकार जब उत्तोलक की छोटी भुजा पर बल लगा करके कार्य किया जाता है तब बल में तो हानि होती है परंतु विस्थापन में हानि के बराबर ही लाभ हो जाता है अर्थात् उत्तोलकों का उपयोग सुविधा के लिए किया जाता है। **इनसे कार्य में कोई लाभ नहीं होता।**

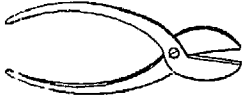
§ 24. व्यावहारिक उपयोग

उत्तोलक की बड़ी भुजा पर बल लगाकर जब कार्य करते हैं तब बल में लाभ होता है और जब उत्तोलक की छोटी भुजा पर बल लगाते है तब विस्थापन में लाभ होता है। उत्तोलक की संतुलन की अवस्था में बलों तथा उनकी संलग्न भुजाओं में प्रतिलोमानुपात होता है। बच्चों का तख्ते वाला झूला (सी-सॉ) (चित्र 3.10) एक सामान्य प्रकार का उत्तोलक है। इसमें एक तख्ता होता है जो एक चूल पर टिका होता है। दोनों ओर एक-एक बच्चा बैठकर अपनी स्थितियों को बदल कर एक-दूसरे को ऊँचा-नीचा करके खेलते हैं। यदि तख्ते के एक सिरे पर एक बच्चा बैठे और दूसरे सिरे पर एक आदमी बैठे तो आदमी के आलंब के पास बैठने पर ही बच्चा उसे संतुलित कर पाता है। उत्तोलक की संतुलित अवस्था में दाई ओर का बलघूर्ण, बाई ओर के बलघूर्ण के

चित्र 3.10 सी-सॉ ।

चित्र 3.11 रेलवे में सब्बल बारी (क्रो बार) का इस्तेमाल किया जाता है ।

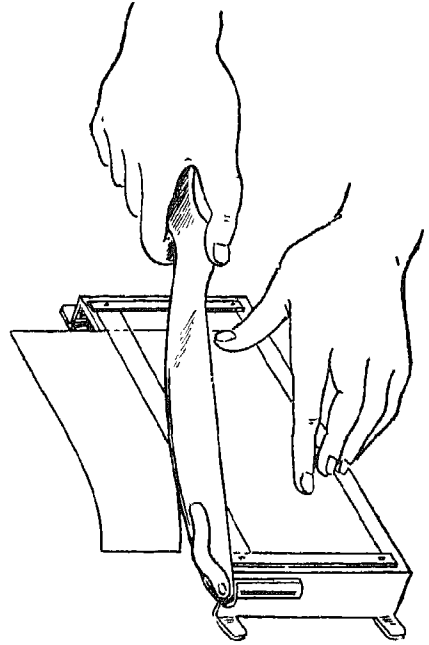
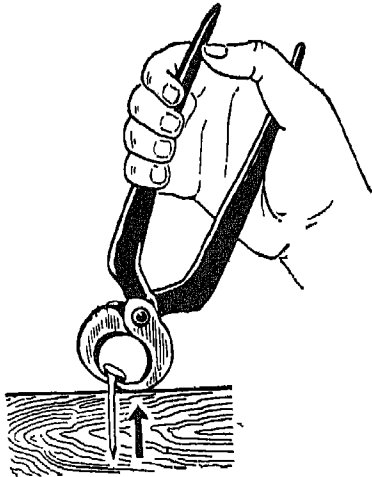
चित्र 3.12 स्पैनर को लीवर की भाँति इस्तेमाल किया जाता है ।

चित्र 3.13 कैंची पर P बल हाथ की उँगलियों द्वारा लगता है । अवरोधी बल वस्तु द्वारा लगाया जाता है ।

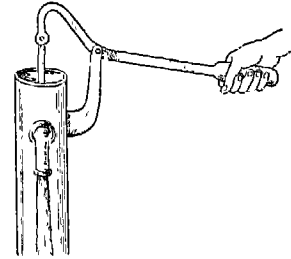
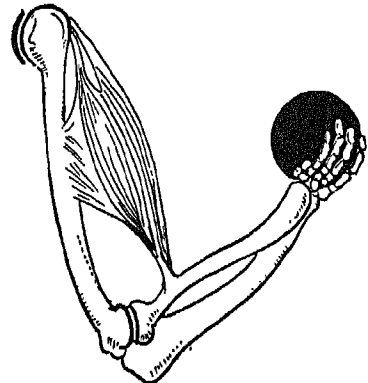
समान होता है ।

स्पैनर (हथकल) एक साधारण यंत्र है जो ढिबरी खोलने के लिए काम में लाया जाता है । यह एक उत्तोलक है जिससे कम बल लगा करके अधिक बल से होने वाले कार्य को कर लेते हैं । चित्र 3.12 में हथकल के हत्थे पर कार्यकर्ता P बल लगाता है । F बल ढिबरी को घूमने से रोकने वाला बल है जो ढिबरी और हथकल के मिलने वाले स्थान पर लगता है । P और F दोनों बल आलंब के एक ही ओर परंतु विपरीत दिशाओं में लगते हैं । P बल की भुजा, F बल की भुजा से बड़ी है । इसलिए ढिबरी खोलने में कार्यकर्ता को सुविधा हो जाती है क्योंकि बड़ी भुजा पर बल लगाने से बल में लाभ होता है ।

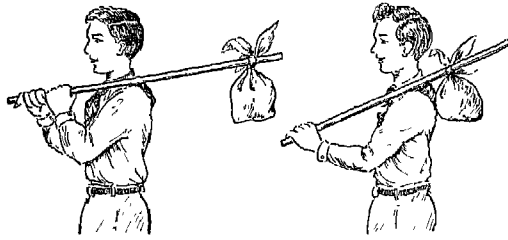
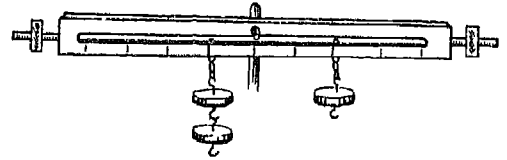
कैंची भी एक उत्तोलक है । कैंची की दोनों पर्ते जहाँ मिलती है वहीं आलंब होता है । चित्र 3.13 में P आदमी के हाथों का बल है तथा F कैंची से काटी जाने वाली वस्तु का अवरोधी बल है । कैंची की आकृति तथा आकार, कैंची के उपयोगानुसार ही बनाया जाता है । उदाहरण के लिए काग़ज़ काटने वाली कैंची के हत्थे तथा फल दोनों लगभग बराबर होते हैं । टीन को काटने के लिए

चित्र 3.14 टीन काटने वाली कतरनी ।

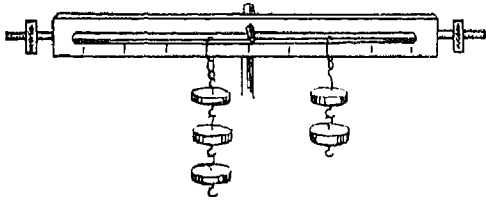
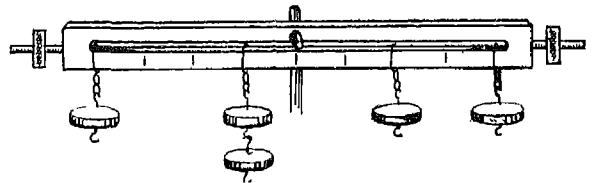
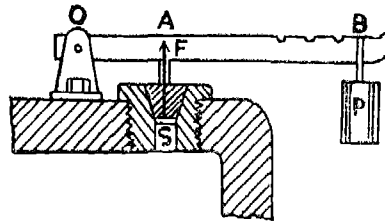
अधिक बल की आवश्यकता होती है क्योंकि टीन का अवरोधी बल अधिक होता है । इसलिए कतरनी (टीन काटने वाली कैंची) के फलक छोटे होते हैं और हत्थे बड़े होते हैं । चित्र 3.14 में कतरनी दिखाई गई है ।

विभिन्न प्रकार की मशीनों में, जैसे सिलाई की मशीन, साइकिल के पैडल तथा ब्रेक, टाइप मशीन की चाबी (Key) आदि में उत्तोलकों का उपयोग किया जाता है ।

चित्र 3.16 फोटो के कागज़ को काटने वाला यंत्र ।

चित्र 3 17 जल पप का हत्था ।

चित्र 3.15 कीलें उखाड़ने के लिए सँड़सी का इस्तेमाल किया जाता है ।

चित्र 3.18 हाथ एक उत्तोलक की भाँति कार्य करता है।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. दिए गए चित्रों के उत्तोलकों में आलंब की स्थिति और उत्तोलक भुजाएँ बताओ।
2. कतरनी के फलकों के जोड़ के पास टीन की चादर रखकर सुगमता से काट ली जाती है। क्यों ?
3. चित्र 3.19 में एक लड़का बोझ को उठाने के लिए एक छड़ का दो प्रकार से प्रयोग करता है। बताओ कि बोझ को किस स्थिति में लड़का अपने कंधे पर कम भार अनुभव करेगा।

चित्र 3.19 बोझा ढोने के लिए एक लड़का छड़ का दो प्रकार से इस्तेमाल कर रहा है।

चित्र 3.20 प्रश्न 4 को स्पष्ट करने के लिए चित्र।

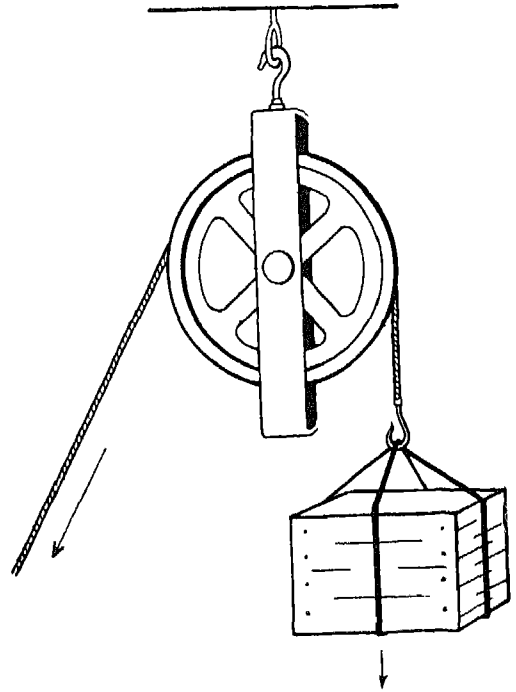
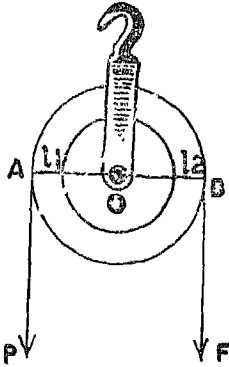
4. चित्र 3.20 में उत्तोलक संतुलन अवस्था में दिखाया गया है। यदि दो समान भार चित्र 3.21 की तरह से उतोलक के दोनों ओर बाँध दिए जाएँ तो बताओ क्या फिर भी यह संतुलित अवस्था में रहेगा। यदि ये दोनों और समान भार चित्र 3.22 की तरह इसी उत्तोलक के दोनों ओर बाँध दिए जाएँ तो क्या होगा ?

चित्र 3.21 प्रश्न 4 को स्पष्ट करने के लिए चित्र।

चित्र 3.22 प्रश्न 4 को स्पष्ट करने के लिए चित्र।

चित्र 3.23 स्टीम बॉयलर का सुरक्षा-वाल्व : OB और OA उत्तोलक की भुजाएँ हैं तथा O आलंबन है। P प्रति-भार तथा F वह बल है जो S पर वाष्प दाब के कारण लगता है।

5 चित्र 3·23 में स्टीम बॉयलर के सुरक्षा वाल्व का अनुप्रस्थ-काट दिया गया है। आलंब की स्थिति तथा उत्तोलक की भुजाओं को बताओ।

§ 25. घिरनी

किसी कुएँ में से पानी खींचने में साधारणतः जिस कठिनाई का अनुभव होता है वह उस कुएँ पर लगी हुई घिरनी पर होकर खींचने में बहुत कम हो जाता है। चित्र 1.4 (अ) में तुम एक महिला को कुएँ में से बालटी खींचते हुए देखते हो। घिरनी एक छोटा-सा पहिया होता है। पहिए की परिधि में एक खाँचा (नाली) पड़ा होता है। पहिया अपने गुरुत्व केन्द्र से जाने वाली तथा तल के लंबरूप धुरी पर स्वतंत्रता पूर्वक घूमता है। धुरी एक चौखटे में जड़ी होती है जिसे घिरनी-धानी कहते है। जब यह घिरनी-धानी किसी स्थिर स्तम्भ में जड़ी होती है तब घिरनी को **स्थिर घिरनी** (चित्र 3.24) कहते हैं। चित्र 3.25 में स्थिर घिरनी की सहायता से बोझ को ऊपर उठाया जा रहा है।

स्थिर घिरनी एक ऐसा उत्तोलक है जिसकी उत्तोलक भुजाएँ समान होती है। उतोलक भुजा की लंबाई पहिए के अर्धव्यास के बराबर होती है। चित्र 3.26 में लगे हुए दोनों बलों, आलंब 'O' तथा उत्तोलक भुजाओं की स्थिति दिखाई गई है। $OA = l_1$ और $OB = l_2$ उत्तोलक भुजाएँ हैं। बल F आदमी द्वारा लगाया गया है तथा बल P उठाए जाने वाला भार अवरोध बल है। P बल घिरनी को बामावर्त दिशा में घुमाने का प्रयत्न करता है और F बल घिरनी को दक्षिणावर्त दिशा में घुमाने का प्रयत्न करता है। तुम जानते हो कि उतोलक की संतुलित

चित्र 3.24 स्थिर घिरनी।

चित्र 3.25 स्थिर घिरनी का उपयोग ऊँची-ऊँची इमारतों में बोझ उठाने में किया जाता है।

चित्र 3.26 स्थिर घिरनी मे बलों का संतुलन ।

अवस्था में दक्षिणावर्त दिशा का बलघूर्ण वामावर्त दिशा के बलघूर्ण के समान होता है । अत:

$$P \times l_1 = F \times l_2$$

परंतु l_1 तथा l_2 एक ही वृत्त के अर्धव्यास होने के कारण समान हैं । इसलिए

$$P = F$$

बलों की इस समानता से यह स्पष्ट है कि घिरनी से बल में लाभ नहीं होता क्योंकि आरोपित बल अवरोध बल के तुल्य है ।

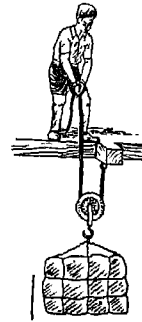
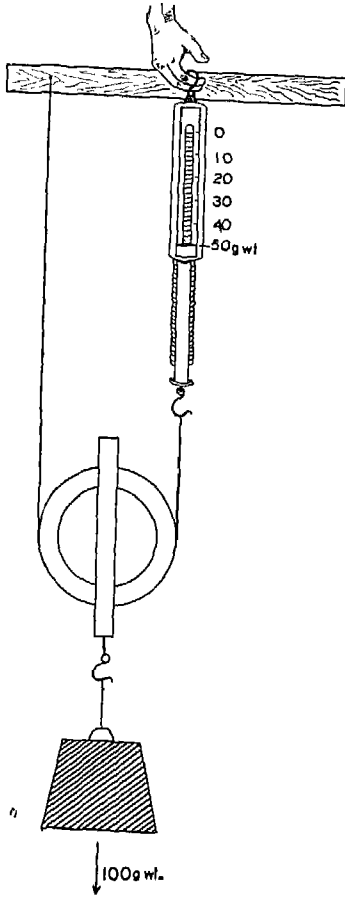
घिरनी और रस्सी के बीच घर्षण बल होता है । उपर्युक्त विवेचन में घिरनी और रस्सी के बीच लगने वाले घर्षण बल को नगण्य मानने पर आरोपित बल, अवरोध बल के समान होता है । इसलिए घिरनी से बल में कुछ लाभ नही होता । बोझ वाली रस्सी जितना ऊपर को खिंचती है उतना ही बल वाली रस्सी नीचे आती है । फलत: बोझ वाली रस्सी और बल वाली रस्सी का विस्थापन बराबर होता है अर्थात् आरोपित बल और अवरोध बल के विस्थापन बराबर होते हैं । इस प्रकार स्थिर घिरनी से विस्थापन में भी लाभ नहीं होता ।

स्थिर घिरनी का उपयोग आरोपित बल को मनोनुकूल दिशाओं में और सुविधाजनक ढंग से लगाने के लिए किया जाता है । घिरनी बल की दिशा बदलने के लिए काम में लाई जाती है ।

बोझ को ऊपर उठाने, पर्दा उठाने अथवा पंखा खींचने के लिए स्थिर घिरनियों का उपयोग किया जाता है ।

§ 26. चलती घिरनी

जब घिरनी की घिरनी-धानी किसी स्थिर स्तंभ में जुड़ी नहीं होती तथा चलनशील होती है तब घिरनी को **चलती घिरनी** कहते हैं । चित्र 3.27 में चलती घिरनी दिखाई गई है । रस्सी का एक सिरा एक स्तंभ से बाँध दिया जाता है । खाँचे में पड़ी रस्सी के दूसरे सिरे को ऊपर खींचते है । उठाए जाने वाला बोझ घिरनी के चौखटे से लटकाया जाता है ।

चित्र 3.28 की तरह से प्रबंध करके चलती घिरनी की सहायता से 100 ग्रा० भा० को ऊपर उठाओ । रस्सी से एक कमानीदार तुला जोड़ो । कमानीदार तुला की माप पढ़ो । यह उठाए जाने वाले भार का आधा होती है । उठाए जाने वाले भार में घिरनी का भार भी सिद्धांत: सम्मिलित होता है । परंतु उठाए जाने वाले भार की अपेक्षा घिरनी बहुत हल्की होती है इसलिए उठाए जाने

चित्र 3.27 चलती घिरनी ।

चित्र 3.28 चलती घिरनी पर लगाए गए बल के मान से दुगुने मान का भार उठाया जा सकता है।

वाले भार का मान लगभग घिरनी से लटके भार के समान ही होता है।

चलती घिरनी पर आरोपित बलों का आरेख चित्र 3.29 में दिखाया गया है। आरेख से स्पष्ट है कि चलती घिरनी एक ऐसा उत्तोलक है जिस का आलंब एक कोने पर तथा उत्तोलक की एक भुजा दूसरी भुजा से दुगुनी होती है। चित्र 3.29 में आलंब बिन्दु O है तथा उत्तोलक भुजाएँ OA और OB हैं।

उत्तोलक की संतुलित अवस्था में दक्षिणावर्त बलघूर्ण, बामावर्त बलघूर्ण के समान होता है इसलिए

$P \times l_1 = F \times l_2$ (1)

$\because OB = 2OA$

$\therefore l_2 = 2l_1$ (2)

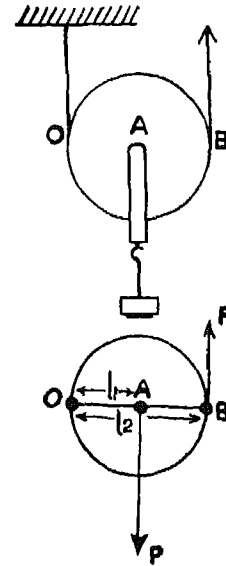
$OA = l_1$
$OB = l_2$
$P =$ अवरोध बल
$F =$ आरोपित बल

l_2 के इस मान को समीकरण (1) में लगाने पर

$P \times l_1 = F \times 2\, l_1$

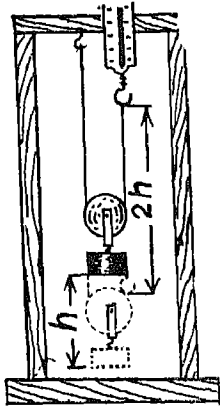
$\therefore P = 2\, F$

अथवा $F = \frac{P}{2}$

अतः आरोपित बल अवरोध बल का आधा है। उपर्युक्त विवेचन में चलती घिरनी के भार को नगण्य माना गया है।

चित्र 3.29 चलती घिरनी का व्यवस्था चित्र।

इस विवेचन से यह स्पष्ट है कि चलती घिरनी की सहायता से बोझ को उठाने के लिए बोझ के बल के आधे बल की आवश्यकता पड़ती है। अतः यह स्पष्ट है कि चलती घिरनी का उपयोग स्थिर घिरनी के उपयोग की अपेक्षा अधिक

लाभदायक है ।

एक चलती घिरनी से एक बोझ को h ऊँचाई तक उठाने पर बोझ तथा कमानीदार तुला की स्थितियाँ चित्र 3.30 में दिखाई गई हैं । चित्र 3.30 से स्पष्ट है कि कमानीदार तुला को 2h ऊँचाई तक उठाना पड़ता है । इससे स्पष्ट है कि आरोपित बल, अवरोध बल का आधा है परंतु आरोपित बल का विस्थापन, अवरोध बल के विस्थापन से दूना है ।

चित्र 3.30 चलती घिरनी द्वारा कार्य मे लाभ नही होता है ।

यदि हम P बोझ (अवरोध बल) को h ऊँचाई तक साधारण विधि से उठाना चाहें तो

कार्य का परिमाण $W_1 = P \times h$

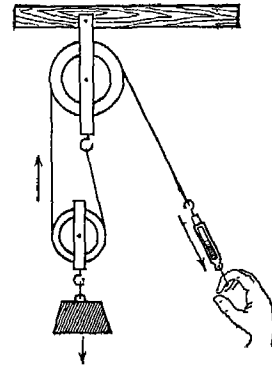
यदि इसी बोझ P को चलती घिरनी की सहायता से उसी ऊँचाई तक उठाएँ तो किया गया कार्य

$$W_2 = \frac{P}{2} \times 2h$$
$$W_2 = P \times h$$
$$W_2 = W_1$$

अतः इससे यह नतीजा निकलता है कि चलती घिरनी के उपयोग से बल में तो दूना लाभ होता है परंतु विस्थापन में दूनी हानि होती है ।

अतः चलती घिरनी के उपयोग से भी कार्य में कोई लाभ नहीं होता ।

क्योंकि चलती घिरनी भी एक उत्तोलक है अतः उपर्युक्त विवेचन से पूर्वकथित कथन की भी पुष्टि हो जाती है कि उत्तोलक के उपयोग से कार्य में कोई लाभ नहीं होता ।

कभी-कभी बोझ को उठाने के लिए स्थिर और चलती घिरनी के संयोजन का उपयोग किया जाता है (चित्र 3.31) । कम बल लगा करके भारी बोझ को जब उठाने की आवश्यकता होती है तब चलती घिरनी काम में लाते है ।

चित्र 3.31 स्थिर और चलती घिरनी का संयोजन ।

§ 27. प्रयोगात्मक कार्य (नं. 3)

1. उत्तोलक पर आरोपित बलों का संतुलन

उपकरण तथा सामग्री : उत्तोलक, कमानीदार तुला, भार, पैमाना तथा धारक ।

विधि :

(1) चित्र 3.5 की तरह प्रबंध करो ।

(2) उत्तोलक की दाई भुजा पर एक भार बाँधो । अब इस भार से दूने भार को उत्तोलक

की बाईं भुजा पर लटकाओ तथा उत्तोलक को सतुलित करो। दाईं तथा बाईं ओर की उत्तोलक भुजाओं को नापो।

(3) विभिन्न भारों को उत्तोलक पर विभिन्न स्थानों पर लटका कर प्रयोग करो।
प्रेक्षणों को तालिका में लिखो।

क्रम संख्या	दक्षिणावर्त बलघूर्ण			बामावर्त बलघूर्ण		
	बल (ग्रा०भा०)	उत्तोलक भुजा (से० मी०)	बलघूर्ण (ग्रा०भा०सें०मी०)	बल (ग्रा० भा०)	उत्तोलक भुजा (सें० मी०)	बलघूर्ण (ग्रा०भा०सें०मी०
1.						
2.						
3						

2. चलती घिरनी पर आरोपित बलों का संतुलन

उपकरण तथा सामग्री : दो घिरनियाँ, धागा, उपस्तभ, कुछ भार, कमानीदार तुला तथा एक पैमाना।

विधि :

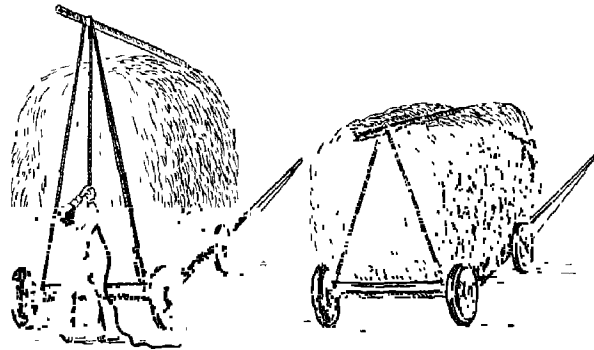
(1) चित्र 3.31 की तरह प्रबंध करो। ध्यान रहे कि चलती घिरनी से जाने वाले धागे आपस में समांतर होने चाहिए।
(2) चलती घिरनी को संतुलित अवस्था में रखने के लिए आवश्यक भार ज्ञात करो।
(3) चलती घिरनी का व्यास ज्ञात करो।
(4) चलती घिरनी के काँटे से भार लटकाओ।
(5) भार लटकाने के बाद स्थिर घिरनी से आने वाले धागे में कमानीदार तुला जोड़कर चलती घिरनी को सतुलित करने वाला भार ज्ञात करो।
(6) लटकाए गए भार को संतुलित करने वाले भार में से, चलती घिरनी को संतुलित करने वाले भार को घटाओ। केवल लटकाए जाने वाले भार को ही संतुलित करने वाले भार का मान ज्ञात करो।
(7) विभिन्न भारों को चलती घिरनी के काँटे से लटका करके तीन बार प्रयोग करो।

(8) प्रेक्षणों को निम्नांकित तालिका में लिखो :

क्रम संख्या	काँटे से लटकाया जाने वाला भार	घिरनी की भुजा	बल-घूर्ण	लटकाए गए भार को संतुलित करने वाला भार	घिरनी की भुजा	बल-घूर्ण

प्रयोग से प्राप्त फलों की जाँच करो ।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. चलती घिरनी की सहायता से एक बोझ को 7 मीटर की ऊँचाई तक उठाने में रस्सी के सिरे पर एक आदमी 16 कि० ग्रा० भा० का बल लगाता है । आदमी द्वारा किए गए कार्य की गणना करो ।
2. क्या विस्थापन में लाभ के लिए स्थिर घिरनी का उपयोग नहीं किया जा सकता है ? बताओ ।
3. एक बोझ को 1·5 मीटर की ऊँचाई तक चलती घिरनी की सहायता से उठाया जाता है । इस प्रयोग में रस्सी को कितना ऊपर खीचना पड़ेगा ? रस्सी की लंबाई बताओ ।
4. 45 कि० ग्रा० भा० का लड़का फ़र्श पर खड़े होकर क्या स्थिर घिरनी की सहायता से 54 कि० ग्रा० भा० को उठा सकता है ?
5. गाड़ी में भरे पुआल को दबाने के लिए बाँस को (चित्र 3.32) एक रस्सी की सहायता से नीचे दबाया जा रहा है । बताओ इसको उत्तोलक की तरह कैसे उपयोग किया जा रहा है ।

चित्र 3.32 बैलगाड़ी में लदे हुए पुआल को दबाने के लिए लंबी रस्सी का इस्तेमाल किया जाता है ।

6. एक उत्तोलक की छोटी भुजा से 5 कि० ग्रा० भा० लटका है। उत्तोलक की बड़ी भुजा को एक लड़का 10 सें० मी० नीचे की ओर दबाकर 0·25 कि० ग्रा० भा० मी० कार्य करता है। बताओ .
   (अ) लड़का कितने बल से उत्तोलक को दबाता है।
   (ब) कितनी ऊँचाई तक भार उठ जाता है।

§ 28. बेलन चर्खी

कुएँ से पानी खींचने के लिए घिरनी के अलावा एक और साधारण मशीन का इस्तेमाल किया जाता है जिसे बेलन चर्खी कहते हैं। बेलन चर्खी चित्र 3.33 में दिखाई गई है। इसमें एक बेलन होता है जिसमें एक हत्था लगा होता है। बेलन तथा हत्थे की घूर्णाक्ष दो स्थिर स्तभों से जड़ी रहती है। रस्सी का एक सिरा बेलन से बाँधा जाता है तथा दूसरे सिरे से बाल्टी बाँधी जाती है। हत्थे को जब दक्षिणावर्त दिशा में घुमाते हैं तब रस्सी बेलन से लिपटती जाती है। जब हत्थे को बामावर्त दिशा में घुमाते हैं तब रस्सी खुलती जाती है और बालटी कुएँ में नीचे चलती जाती है। हत्थे को जब फिर दक्षिणावर्त दिशा में घुमाते है तब रस्सी बेलन से लिपटती जाती है और बालटी ऊपर आती जाती है।

चित्र 3.33 बेलन चर्खी।

बेलन चर्खी पर आरोपित बलों का आरेख चित्र 3.34 में दिखाया गया है। O धुरी का केन्द्र है। $OB = r$ बेलन का अर्धव्यास है। $OC = R$ हत्थे के घूमने से बनने वाले वृत्त का अर्धव्यास है। F कार्यकर्ता का आरोपित बल है तथा बालटी का भार (अवरोध बल) P है। O तथा B बिन्दुओं से जाती हुई एक रेखा C खींचने पर एक ऐसे उत्तोलक का आरेख प्राप्त होता है जिसकी उत्तोलक भुजाएँ OB तथा OC हैं।

उत्तोलक के सिद्धांतानुसार

$$F \times OC = P \times OB$$

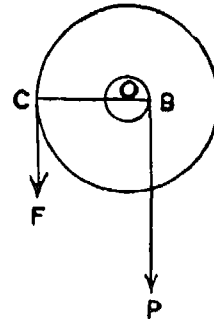
$$F \times R = P \times r$$

$$\boxed{F = \frac{P \times r}{R}}$$

क्योंकि $\frac{r}{R}$ एक से कम है

अतः F, P से कम है।

इस प्रकार बेलन चर्खी के उपयोग से बल में तो लाभ होता है परंतु विस्थापन में हानि होती है।

उपर्युक्त विवेचन से यह स्पष्ट होता है कि बेलन चर्खी से कार्य में कोई लाभ नहीं होता है।

चित्र 3.34 बेलन चर्खी का व्यवस्था चित्र।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. एक बेलन चर्खी का व्यास 20 सें० मी० है । हत्थे द्वारा बने वृत्त का अर्धव्यास 60 सें० मी० है । 12 कि० ग्रा० भा० की पानी से भरी बालटी को खीचने के लिए आवश्यक बल की गणना करो ।
2. 150 कि० ग्रा० भा० को एक बेलन चर्खी की सहायता से उठाया जाता है । हत्थे पर आरोपित बल का मान 10 कि० ग्रा० भा० है तथा बेलन का अर्धव्यास 10 से० मी० है । बेलन चर्खी का आरेख खींचो तथा हत्थे द्वारा बने वृत्त का अर्धव्यास बताओ ।
3. पहिया तथा धुरी की कार्य प्रणाली की व्याख्या करो ।

§ 29. मशीन की दक्षता

मशीनें कार्य करने में केवल सहायक हैं । इनसे कार्य में बचत नहीं होती । इनकी सहायता से कम बल लगा कर अधिक बल से होने वाला कार्य कर लिया जाता है अथवा सुविधानुसार बल की दिशा बदल ली जाती है ।

प्रत्येक मशीन में कुछ न कुछ आतरिक अवरोध अथवा घर्षण अवश्य होता है । इस कारण मशीन पर जितना बल लगाया जाता है वह पूरा लाभदायक कार्य नहीं कर पाता क्योंकि इसका कुछ भाग आंतरिक अवरोध अथवा घर्षण के विरुद्ध कार्य करने में लग जाता है और शेष भाग ही उपयोगी कार्य करने में व्यय होता है । इस प्रकार मशीन द्वारा किया गया कार्य उस पर किए गए कार्य से सदैव ही कुछ कम होता है । मशीन द्वारा किए गए लाभदायक कार्य और उस पर किए गए कार्य के अनुपात को मशीन की दक्षता कहते हैं ।

$$\text{दक्षता} = \frac{\text{मशीन द्वारा किया गया उपयोगी कार्य}}{\text{मशीन पर किया गया कार्य}}$$

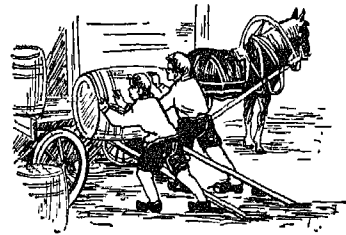
यदि दक्षता को n से, उपयोगी कार्य को Wu से और मशीन पर किए गए कार्य को Wt से दिखाएँ तो

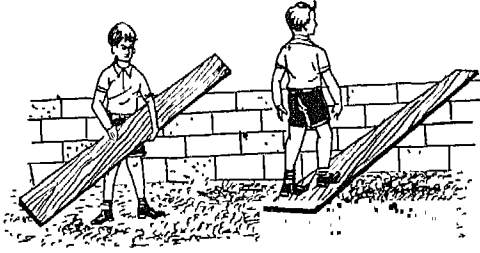
$$n = \frac{Wu}{Wt}$$

दक्षता सदैव प्रतिशत में लिखी जाती है तथा यह हमेशा 100% से कम होती है ।

$$n = \frac{Wu}{Wt} \times 100\%$$

§ 30. नत समतल

बहुधा तुमने यह देखा होगा कि भारी-भारी बोझों को जब ठेला आदि में चढ़ाना होता है तब एक तख्ते को पृथ्वी से ठेले तक तिरछे रूप से लगा कर रखते हैं । ऐसे लगे तख्ते की मदद से बोझ को ठेले पर चढाने में आसानी हो जाती है । चित्र 3.35 में बड़े-बड़े ड्राम तख्तों की सहायता से गाड़ी में चढ़ाए जा रहे है ।

चित्र 3.35 भारी ड्रामों को गाड़ी मे चढ़ाने के लिए लकड़ी के तख्तों को तिरछा रखकर इस्तेमाल किया जाता है ।

चित्र 3.36 में दीवार पर बिना तख़्ते की सहायता के चढ़ना कठिन है परंतु दीवार और पृथ्वी के बीच में तख़्ते को तिरछा रख करके चढ़ने में आसानी हो जाती है। यही साधारण युक्ति नत समतल कहलाती है अर्थात् जब एक सपाट तल दूसरे सपाट तल के साथ कोई कोण बनाता है तब उसको **नत समतल** कहते हैं।

चित्र 3.36 लकड़ी के तख्ते की सहायता से दीवार पर चढ़ना।

नत समतल की सहायता से कार्य आसानी से हो जाता है। तुम उस कार्य को सरलता से कर सकते हो जिसे तुम इसके बिना नहीं कर सकते। पहाड़ पर सीधे चढ़ने में काफ़ी परेशानी होती है परंतु लपेट पथ की सहायता से चढ़ने में सरलता हो जाती है (चित्र 3.37)। मकान की छत पर चढ़ने के लिए सीढ़ियों का उपयोग किया जाता है (चित्र 3.38)।

एक स्प्रिंग बैलेंस लो। इसके काँटे (हुक) से एक ट्रॉली लटकाओ और इसको सीधे मेज़ तक उठाओ। स्प्रिंग बैलेंस से आरोपित बल का मान ज्ञात कर लो। अब एक तख़्ते को तिरछे रुप से मेज़ और पृथ्वी के बीच रखो। ट्रॉली को तख़्ते की सहायता से मेज़ तक खींचो। ट्रॉली को मेज़ तक लाने में आरोपित बल ज्ञात करो। तुम देखोगे कि यह बल पहले बल से कम है। इससे यह फल निकला कि ट्रॉली को तख़्ते की सहायता से कम बल द्वारा ही मेज़ तक लाया जा सका।

चित्र 3.37 पहाड़ी सड़क का व्यवस्था चित्र।

नत समतल का आरेख समकोण त्रिभुज की तरह होता है जैसा कि चित्र 3.39 में दिखाया गया है। BC वह ऊँचाई है जहाँ तक कि किसी वस्तु को चढ़ाना है तथा AB ढलान की लंबाई है। P वस्तु का भार तथा F आरोपित बल है।

P भार की वस्तु को ऊँचाई h तक उठाने में कार्य $w_1 = P \times h$ कि॰ ग्रा॰ भा॰ मी॰

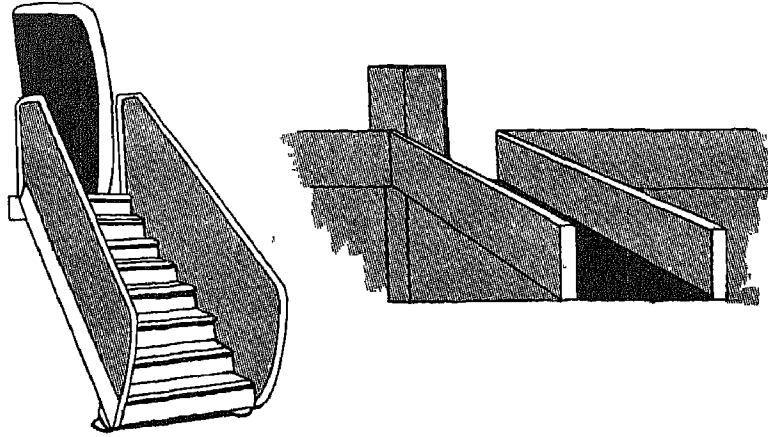
P भार की वस्तु को नत समतल (ढलान) के सहारे चढ़ाने में किया जाने वाला कार्य

$w_2 = F \times l$ कि॰ ग्रा॰ भा॰ मी॰

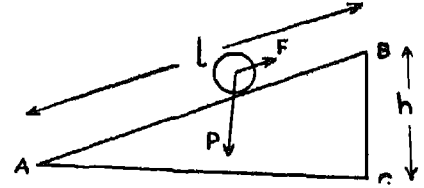
तुम जानते हो कि किसी भी मशीन से कार्य में कोई लाभ नहीं होता है इसलिए नत समतल के संबंध में भी $w_2 = w_1$ होना चाहिए,

अतः $F \times l = P \times h$

$$\boxed{F = \frac{P \times h}{l}}$$

उपर्युक्त व्यंजक के निरूपण में घर्षण बल को नगण्य माना गया है। इस व्यंजक से यह स्पष्ट है कि नत समतल की सहायता से बल में उसी अनुपात से लाभ होता है जो इसकी तल की

चित्र 3.38 सीढ़ियाँ और ढलान।

लंबाई तथा इसकी ऊर्ध्वाधर तल की लंबाई में होता है। यानी नत समतल की लंबाई, उसकी ऊँचाई से जितनी अधिक होती है उतना ही कम बल किसी वस्तु को इसके सहारे उठाने में लगाना पड़ता है।

जहाज़ से उतरने की सीढ़ी, ढलान मार्ग, लपेट पथ आदि नत समतल के उदाहरण हैं।

चित्र 3.39 नत समतल का अनुभाग चित्र।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. 200 कि० ग्रा० भा० के एक पीपे को 10 मीटर लंबे व 2·5 मीटर ऊँचे नत समतल पर चढ़ाना है। बताओ क्या यह कार्य 30 कि० ग्रा० भा० के बल से संभव है।
2. एक पहाड़ी सड़क 20 मीटर लंबी है परंतु ऊँचाई केवल 4 मीटर है। 50 कि० ग्रा० भा० की छोटी गाड़ी को ऊपर ले जाने के लिए आवश्यक बल की गणना करो। गणना हेतु घर्षण बल को नगण्य मानो।

§ 31. प्रयोगात्मक कार्य (नं० 4)

नत समतल की दक्षता ज्ञात करना

उपकरण तथा सामग्री : एक तख़्ता (नत समतल), काँटा लगा हुआ लकड़ी का गुटका, स्प्रिंग बैलेंस तथा कुछ भार।

विधि :

(1) तख़्ते की सहायता से नत समतल बनाओ।
(2) नत समतल की लंबाई और ऊँचाई नापो।

(3) गुटके को स्प्रिंग बैलेंस से जोड़ो और नत समतल के सहारे इसे एकसमान चाल से ऊपर खींचो तथा (कर्षक बल) स्प्रिंग बैलेंस की माप लो।

(4) नत समतल की लंबाई और ऊँचाई में बिना परिवर्तन किए गुटके के ऊपर विभिन्न भार रखकर प्रयोग को कई बार दुहराओ।

(5) अपने प्रेक्षणों को तालिका में लिखो।

क्रम संख्या	कर्षक बल	नत समतल की लंबाई	कार्य का परिमाण	गुटके तथा गुटके पर भार रखकर, भार	नत समतल की उँचाई	लाभदायक कार्य	दक्षता	औसत दक्षता

(6) उपर्युक्त आँकड़ों के आधार पर नत समतल की दक्षता (प्रतिशत में) ज्ञात करो।

§ 32. मेखला संचरण, गियर संचरण तथा घर्षण संचरण

मेखला संचरण : तुम जानते हो कि घूर्णन गति में किसी घूमती हुई वस्तु के सब बिन्दु एक ही परिधि में नहीं घूमते वरन् अलग-अलग परिधियों में घूमते हैं। इन सब परिधियों का केन्द्र एक सरल रेखा पर होता है जिसे घूर्णाक्ष कहते हैं। घिरनी तथा बेलन चर्खी की गति घूर्णन गति होती है।

कुछ वस्तुएँ तेज़ी से घूमती हैं और कुछ धीरे घूमती हैं। उदाहरण के लिए घड़ी में घंटे वाली सूई 12 घंटे में एक पूरा चक्कर लगाती है। मिनट वाली सूई एक घंटे में एक पूरा चक्कर करती है और सेकंड वाली सूई एक मिनट में एक पूरा चक्कर करती है। इस प्रकार मिनट वाली सूई 60 मिनट में एक पूरा चक्कर लगाती है और सेकंड वाली सूई 60 मिनट में 60 चक्कर लगाती है। इसका आशय यह है कि सूइयों के घूमने की चाल अलग-अलग है। दूसरे शब्दों में इनकी घूर्णन चालें अलग-अलग हैं।

वस्तु की घूर्णन चाल का पता इस बात से चलता है कि एक निश्चित अवधि में वस्तु कितनी बार पूरे चक्कर लगाती है। इकाई समय में वस्तु

द्वारा घूमे गए चक्करों के मान को ही घूर्णन चाल कहते हैं। घूर्णन चाल घूर्णन/मिनट में प्रदर्शित की जाती है।

दैनिक जीवन में उपयोगी कुछ मशीनों की घूर्णन चाल :

पवन चक्की (विन्डमिल) का पहिया	60	घूर्णन प्रति	मिनट
साइकिल का पहिया	100	,,	,,
जल टरबाइन का पहिया	100	,,	,,
मोटरकार का पहिया	500	,,	,,
विमान पंखा	1200	,,	,,
मोटरकार की क्रैंक धुरी	4200	,,	,,
बुनाई दंड तुरी	18000	,,	,,

प्रथम अध्याय के § 2 को पढ़ो। चित्र 1.5 ब में चकती के घूमने पर विभिन्न परिधियाँ दिखाई गई हैं। जब एक वस्तु घूमती है तब वस्तु के विभिन्न बिन्दु विभिन्न परिधियों पर घूमते हैं। एक पूरा चक्कर करने में वस्तु 360° के कोण से घूम जाती है। कल्पना करो कि एक पूरे चक्कर का समय t है तथा चकती पर के तीन बिन्दु अपनी-अपनी परिधियों में t समय में ही पूरा चक्कर लगा लेते हैं। मान लो पहले वाले वृत का अर्धव्यास r_1, दूसरे का r_2 तथा तीसरे वृत्त का अर्धव्यास r_3 है।

तुम जानते हो कि चाल $=\frac{\text{दूरी}}{\text{समय}}$

इसलिए पहले वृत्त की परिधि पर घूमने वाले बिन्दु की चाल$=\frac{2\pi r_1}{t}$,

दूसरे वृत्त की परिधि पर घूमने वाले बिन्दु की चाल$=\frac{2\pi r_2}{t}$,

इसी प्रकार तीसरे वृत्त की परिधि पर घूमने वाले बिन्दु की चाल$=\frac{2\pi r_3}{t}$ ।

अतः उपर्युक्त कथन से यह स्पष्ट हो जाता है कि चाल (रेखीय) उस वृत्त के अर्धव्यास पर निर्भर करती है जिस वृत्त पर वस्तु का प्रभाग गमन करता है। घूमे गए चक्करों की संख्या समान रहने पर रेखीय चाल, वृत्त का अर्धव्यास अधिक होने से, अधिक होती है। यदि किसी समय t में n पूरे चक्कर किए जाते हैं तो

$$\text{चाल}=\frac{2\pi rn}{t}$$

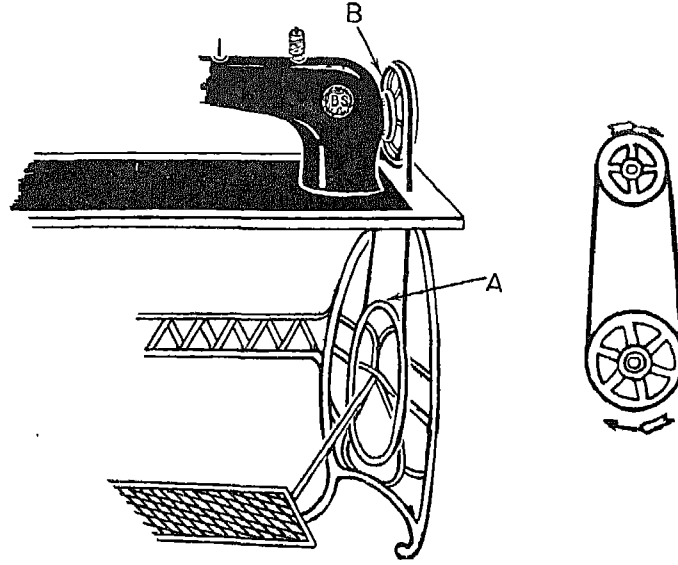
$$\left\{\begin{array}{l} n=\text{चक्करों की संख्या} \\ t=\text{समय} \\ r=\text{वृत्त का अर्धव्यास ।} \end{array}\right\}$$

यदि एक वस्तु r सें० मी० अर्धव्यास वाले वृत्त की परिधि पर है तथा 1 मिनट में n पूरे चक्कर करती है तो वस्तु द्वारा 1 मिनट में चली दूरी

$$=2\pi rn$$

$$\text{अतः चाल}=\frac{2\pi rn \text{ सें० मी०}}{60 \text{ से०}} \quad (1 \text{ मि०}=60 \text{ सेकंड})$$

$$\text{चाल}=\frac{2\pi rn}{60} \text{ सें० मी०/से०}$$

कुछ साधारण कल-पुर्जों की सहायता से मशीन के एक भाग की घूर्णन गति दूसरे भाग में संचारित की जाती है। साइकिल में साइकिल चालक अपने पैरों के बल से पैडल घुमाता है। पैडलों की घूर्णन गति एक ज़ंजीर (मेखला) की सहायता से पहिए तक संचरित की जाती है। सिलाई की मशीन में (चित्र 3.40) एक पहिए की घूर्णन गति दूसरे पहिए में एक चमड़े की पट्टी के द्वारा संचारित होती है। साइकिल में ज़ंजीर तथा सिलाई की मशीन में चमड़े की पट्टी को संचारण मेखला कहते हैं। सिलाई की मशीन में पहिया A की घूर्णन गति, संचारण मेखला की सहायता से पहिया B को संचारित होती है। एक पहिए की गति दूसरे पहिए में, मेखला और पहिए के घर्षण तथा आपस

चित्र 3.40 सिलाई मशीन में संचारण पट्टी (मेखला)।

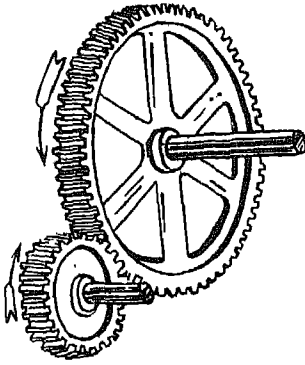
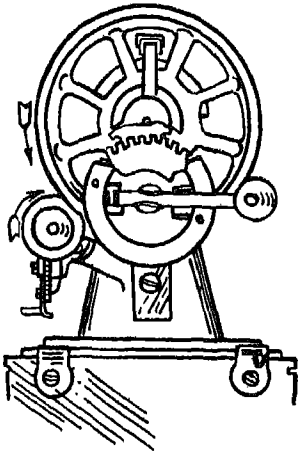
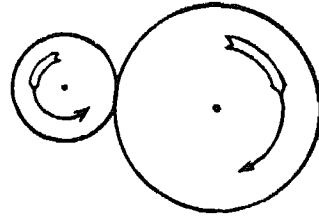
के खिचाव के कारण संचारित होती है।

संचारण मेखला का कार्य सुचारु रूप से तथा शांतिपूर्वक होता है। इस संचरण से वातावरण अशांत नहीं होता। संचारण मेखला चिकनी होकर फिसल न जाए इसके लिए ग्रीज़ अथवा चिपचिपा पेस्ट मेखला पर लगा दिया जाता है ताकि मेखला और पहियों के बीच घर्षण अधिक बना रहे। चालक पहिया मेखला को जितने बल से खींचता है उतने ही बल से चालित पहिया भी मेखला को खींचता है। अत: एक पहिए की घूर्णन गति दूसरे में संचरित हो जाती है। मेखला दोनों पहियों के बीच खिंची हुई रखी जाती है। ऐसा करने से मेखला तथा पहिए के बीच घर्षण बल अधिक बना रहता है। जब चालक और चालित पहियों के बीच मेखला सीधी होती है तब जिस दिशा में चालक पहिया घूमता है, उसी दिशा में चालित पहिया भी घूमता है। जब दोनों पहियों के बीच मेखला तिरछी होती है तब चालित पहिया, चालक पहिए की विपरीत दिशा में घूमता है।

यदि चालक और चालित पहियों के व्यास बराबर हों तो एक निश्चित अवधि में दोनों के घूर्णनों (चक्कर) की संख्या बराबर होती है परंतु जब चालक पहिए का व्यास अधिक होता है तब उसी निश्चित अवधि में चालित पहिया अधिक घूर्णन करता है। साइकिल में पैडल का व्यास, पिछले पहिए के फ्लाई व्हील के व्यास से बड़ा होता है। अतएव पैडल के चक्करों की अपेक्षा फ्लाई व्हील के चक्करों की संख्या अधिक होती है।

गियर संचरण : मेखला संचरण उस अवस्था में लाभदायक होता है जब चालक और चालित पहियों के बीच दूरी होती है। परंतु जब चालक और चालित पहिए पास-पास होते हैं तब उस समय गियर संचरण की विधि काम में लाई जाती है। इस विधि में एक पहिए के दाँत दूसरे पहिए के दाँतों (चित्र 3.41) में ठीक प्रकार से फँसे

चित्र 3.41 गियर के पहिए।

चित्र 3 43 आटोमोबाइल के संचरण गियर।

होते हैं। सिलाई की मशीन, खराद मशीन, मोटर-कार आदि में घूर्णन गति, गियर संचरण की विधि से संचरित होती है। चालित गियर, चालक गियर की विपरीत दिशा में घूमता है। चालित गियर की चाल, इसके और चालक गियर (दोनों गियरों) के दाँतों की संख्या पर निर्भर होती है। अगर चालक गियर में 75 दाँत हैं और चालित गियर में 25 दाँत हैं तो चालक गियर के एक चक्कर में चालित गियर के तीन चक्कर होते हैं। गियर संचरण विधि सरल तथा काफ़ी समय तक चलने वाली विश्वासी विधि है। खराद मशीन, मोटरकार, सिलाई की मशीन, कुट्टी की मशीन, आदि में इस विधि का उपयोग होता है।

चित्र 3.42 सिलाई की मशीन में गियर तथा घर्षण संचरण।

चित्र 3.44 सिलाई की मशीन में घर्षण संचरण का अनुभाग चित्र।

घर्षण संचरण : जब चालक और चालित पहिए बहुत पास-पास होते हैं और उनमें दाँत भी नहीं होते तब घर्षण का उपयोग करके चालक पहिए की घूर्णन गति चालित पहिए में संचरित की जाती है। दोनों पहिए एक-दूसरे को दबाते हुए सटा कर रखे जाते है। जब चालक पहिया घूमता है तब घर्षण के कारण चालित पहिया, चालक पहिए की गति के विपरीत दिशा में, घूमता है। उदाहरण के लिए सिलाई की मशीन में धागे की फिरकी (स्पूल) चित्र 3.44 की तरह (एक विशेष प्रकार से) जुड़ी होती है। इसमें घर्षण चालक पहिए और छोटे पहिए की रबड़-पट्टी के बीच होता है। जब यह पहिया घूमता है तब छोटा पहिया भी घूमता है और फिरकी पर धागा लिपट जाता है।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. एक साइकिल की चाल 15 कि० मी० घं० है। इसके पहिए का अर्धव्यास 70 सें० मी० है। बताओ 1 मिनट में पट्टियाँ कितने घूर्णन करेगा।
2. पाठ में वर्णित मशीनों के संचरण की विधियों के नाम बताओ।
3. बताओ सिलाई की मशीन में घर्षण संचरण का किस प्रकार उपयोग किया जाता है।

§ 33. ऊर्जा

कार्य और शक्ति के विषय में तुम जानते हो। जब कोई वस्तु कार्य करने के लिए समर्थ होती है अथवा उसमें कार्य करने की क्षमता होती है तब यह कहते हैं कि वस्तु में कार्य करने की ऊर्जा है।

ऊर्जा के कई रूप होते हैं जैसे यांत्रिक, विद्युत, प्रकाश ऊर्जा आदि। इनके विषय में तुम अगली कक्षाओं में विस्तृत अध्ययन करोगे। यहाँ हम केवल यांत्रिक ऊर्जा का ही अध्ययन करेंगे। यांत्रिक ऊर्जा के दो रूप होते हैं :

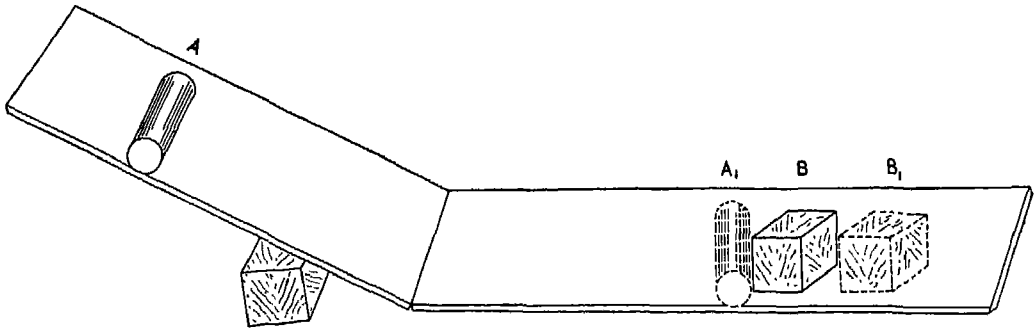
1. गतिज ऊर्जा
2. स्थितिज ऊर्जा

§ 34. गतिज ऊर्जा और स्थितिज ऊर्जा

गतिज ऊर्जा : "सब गतिशील वस्तुओं में गतिज ऊर्जा होती है।" इस कथन का आशय समझने के लिए निम्नलिखित प्रयोग करो :

चित्र 3.45 में धातु का एक बेलन एक नत समतल पर लुढ़कता है तथा क्षैतिज समतल पर रखे एक लकड़ी के गुटके B से टकराता है। गतिशील बेलन A जब गुटके B से टकराता है तब यह इसको कुछ दूर हटाता है। इस प्रकार गतिशील बेलन कुछ कार्य करता है। यह अपनी गति के कारण कार्य करता है। गतिशील बेलन A में कार्य करने की क्षमता, जो इसकी गति के कारण है, गतिज ऊर्जा कहलाती है।

इसी प्रकार से उड़ते हुए वायुयान, चलती हुई कार अथवा साइकिल में गतिज ऊर्जा होती है।

गतिज ऊर्जा किन-किन बातों पर निर्भर करती है, इसे जानने के लिए चित्र 3.45 में

चित्र 3.45 गतिशील बेलन में कार्य करने की क्षमता होती है।

दिखाए गए उपकरण से प्रयोग करो ।

सर्वप्रथम तुम देखोगे कि गतिशील बेलन A की क्षैतिज समतल पर पहुँचने वाली चाल, नत समतल के बिन्दु की ऊँचाई पर जहाँ से यह लुढ़कता है, निर्भर करती है ।

यदि वही बेलन, उसी नत समतल की विभिन्न ऊँचाईयों से लुढ़के तो तुम देखोगे कि गतिशील बेलन जब अधिक ऊँचाई से लुढ़कता है तब वह क्षैतिज समतल पर अधिक दूर चलता है । जब वही सिलिंडर क्षैतिज समतल पर अधिक दूर चलता है तब इसकी चाल उस दशा में अधिक होनी चाहिए ।

नत समतल की विभिन्न ऊँचाइयों से बेलन को लुढ़काओ और क्षैतिज समतल पर इसकी चाल देखो ।

इस प्रयोग से यह निष्कर्ष निकलता है कि जब एक वस्तु को अधिक ऊँचाई से लुढ़काया जाता है तब क्षैतिज समतल पर पहुँचने पर इसकी चाल अधिक हो जाती है ।

अब हम यह अध्ययन कर सकते हैं कि गतिज ऊर्जा का परिमाण वस्तु की चाल पर निर्भर करता है । अब उसी बेलन को नत समतल की विभिन्न ऊँचाइयों से लुढ़काओ तथा क्षैतिज समतल पर रखे हुए लकड़ी के गुटके से टकराओ । तुम देखोगे कि जब बेलन अधिक ऊँचाई से लुढ़कता है तब यह लकड़ी के गुटके को अधिक दूर हटाता है । तुम यह जानते हो कि जब वही गुटका अधिक दूरी तक हटाया जाता है तब अधिक यांत्रिक कार्य होता है । इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि किसी वस्तु की गतिज ऊर्जा, वस्तु की चाल पर निर्भर करती है । जब चाल अधिक होती है तब गतिज ऊर्जा अधिक होती है ।

गतिशील वस्तु की गतिज ऊर्जा, गतिशील वस्तु की संहित पर भी निर्भर करती है । इसके लिए चित्र 3.45 में दिखाए उपकरण से प्रयोग करो ।

एक नत समतल की एक ही ऊँचाई से दो विभिन्न संहतियों के बेलन लुढ़काओ तथा क्षैतिज समतल पर रखे हुए लकड़ी के गुटके से टकराओ । तुम देखोगे कि अधिक संहति के बेलन से लकड़ी का गुटका अधिक दूर हटता है । इसका यह आशय है कि वस्तु की गतिज ऊर्जा वस्तु की संहति पर भी निर्भर करती है । यदि वस्तु की संहति अधिक होती है तो गतिज ऊर्जा अधिक होती है ।

उपर्युक्त प्रयोगों से यह निष्कर्ष निकलता है कि गतिज ऊर्जा का मान दो बातों पर निर्भर करता है :

1. वस्तु की चाल, और
2. वस्तु की संहति

प्रश्न तथा अभ्यास

1. बताओ दो नदियों में से, जिनमें से एक पहाड़ पर से नीचे की ओर तथा दूसरी केवल मैदान में ही बह रही हो, किसके एक घन मीटर पानी की गतिज ऊर्जा अधिक होगी ?
2. बोझ से लदा हुआ एक ट्रक और एक कार दोनों बराबर चाल से गतिशील हैं । बताओ इनमें से किसकी गतिज ऊर्जा अधिक होगी ?
3. बताओ किस परिस्थिति में दो गतिशील वस्तुओं की, जिनकी चालें अलग-अलग हैं, गतिज ऊर्जाएँ बराबर होंगी ?
4. दो अलग-अलग संहतियों की गतिशील वस्तुओं की गतिज ऊर्जाएँ समान हैं । यह किन-किन परिस्थितियों में संभव है ?

स्थितिज ऊर्जा : तुम जानते हो कि प्रत्येक वस्तु में भार होता है। वस्तु का यह भार उस वस्तु पर पृथ्वी का आकर्षण बल होता है। अब यदि तुम किसी वस्तु को पृथ्वी तल से ऊपर उठाओ तो तुम इस आकर्षण बल के विरुद्ध प्रयास करते हो। तुम इस बल के विरुद्ध कार्य करके वस्तु को उठाते हो। तुम्हारे द्वारा किया गया यह यांत्रिक कार्य नष्ट नहीं होता है, अपितु यह पृथ्वी तल से उठाई गई वस्तु में ऊर्जा के रूप में एकत्र हो जाता है। यह एकत्रित ऊर्जा ऐसी वस्तु को नीचे गिराकर दुबारा प्राप्त की जा सकती है।

इस बात के अध्ययन के लिए प्रयोग करो। एक वस्तु को कुछ ऊँचा उठाओ और बालू में गिराओ। तुम यह देखोगे कि यह बालू में नीचे धँस जाती है। इस प्रकार जब कोई वस्तु किसी वस्तु की अपेक्षा कुछ ऊँचाई तक उठाई जाती है तब उसमें कार्य करने की क्षमता उत्पन्न हो जाती है। वस्तु में कार्य करने की यह क्षमता इसमें किसी वस्तु के सापेक्ष किसी ऊँचाई तक उठाने से उत्पन्न होती है, वस्तु की **स्थितिज ऊर्जा** कहलाती है।

किसी उठाई गई वस्तु की स्थितिज ऊर्जा का मान किन-किन बातों पर निर्भर करता है? इसके अध्ययन के लिए चित्र 3.46 की तरह का प्रबंध करो। इस प्रयोग में एक ही वस्तु को विभिन्न ऊँचाइयों से गिराओ। तुम देखोगे कि जितनी अधिक ऊँचाई से वस्तु नीचे गिराई जाती है, उतनी ही अधिक दूरी तक छड़ बालू में धँस जाती है। इस प्रकार एक ही वस्तु अधिक ऊँचाई से गिरने पर अधिक यांत्रिक कार्य करती है। जब कम ऊँचाई से गिरती है तब यांत्रिक कार्य कम होता है। दूसरे शब्दों में वस्तु की स्थितिज ऊर्जा, वस्तु को उठाई जाने वाली ऊँचाई के साथ-साथ बढ़ती जाती है।

चित्र 3.46 लटके हुए भार के गिरने से छड़ बालू में धँस जाती है।

इसी प्रयोग को दो विभिन्न भार की वस्तुओं से करो। उनको अलग-अलग एक ही ऊँचाई से गिराओ। तुम देखोगे कि जब भारी वस्तु गिरती है तब छड़ बालू में अधिक दूरी तक धँस जाती है। अतः वस्तु की स्थितिज ऊर्जा उसके भार पर भी निर्भर करती है। वस्तु जितनी भारी होती है, उतनी ही उसकी स्थितिज ऊर्जा अधिक होती है।

उपर्युक्त प्रयोगों से यह निष्कर्ष निकलता है कि वस्तु की अपनी स्थिति के कारण स्थितिज ऊर्जा दो बातों पर निर्भर करती है :

1. वस्तु के भार
   और
2. उस बिन्दु की ऊँचाई पर जहाँ तक किसी वस्तु के सापेक्ष उस वस्तु को उठाया गया है।

अब एक संपीड़ित कमानी लो। 'संपीड़ित कमानी में कार्य करने की क्षमता होती है।' इसके अध्ययन के लिए चित्र 3.47 प्रयोग करो।

एक कमानी लो। इसको किसी वस्तु से सटा कर रखो। तुम देखोगे कि वस्तु अपनी अवस्था में ही रहती है। यहाँ पर कमानी संपीड़ित अवस्था में न होने के कारण कोई कार्य नहीं करती है। अब संपीड़ित अवस्था में उसी कमानी को उसी

वस्तु से सटाकर रखो और इसे स्वतंत्र छोड़ो। तुम देखोगे कि ज्यों ही कमानी को स्वतंत्र किया जाता है त्यों ही वस्तु दूर फिक जाती है। यहाँ पर कमानी कुछ यांत्रिक कार्य करती है। इसमें कार्य करने की क्षमता केवल इसकी अपनी संपीड़ित अवस्था के कारण आई। इस प्रकार से किसी वस्तु **में उसकी विशेष अवस्था के कारण कार्य करने की क्षमता भी इसकी स्थितिज ऊर्जा** कहलाती है।

चित्र 3.47 संपीड़ित कमानी में कार्य करने की क्षमता होती है।

कमानीदार घड़ी में कमानी को पहले लपेटा जाता है तथा इसके लपेटने में जो कार्य किया जाता है वह कमानी में इसकी स्थितिज ऊर्जा के रूप में एकत्र हो जाता है। यह संपीड़ित कमानी जब स्वतंत्र होती है तब यह पहियों को गतिशील करती है। इसी प्रकार पिस्टन लगे सिलिंडर में जब रखी हुई एक संपीड़ित गैस को फैलने दिया जाता है तब यह पिस्टन को बाहर की ओर जोर (बल) से धकेलती है। इससे यह स्पष्ट हो जाता है कि संपीड़ित गैस में स्थितिज ऊर्जा होती है जिससे पिस्टन हट जाता है।

नदी पर एक बाँध बना करके बहुत अधिक परिमाण में स्थितिज ऊर्जा प्राप्त की जाती है। नदी पर बाँध बना करके नदी में पानी के तल को ऊँचा उठा दिया जाता है जिसके फलस्वरूप पानी की स्थितिज ऊर्जा बढ़ जाती है। ऐसी नदी के बाँध से गिरता हुआ पानी बाँध पर लगी विद्युत पैदा करने वाली टरबाइन के पहियों को घुमाता है।

उपर्युक्त उदाहरणों से यह निष्कर्ष निकलता है कि वस्तु में स्थितिज ऊर्जा इसकी स्थिति अथवा अवस्था (रूप, आकृति) के कारण होती है।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. पीतल और लकड़ी के दो समान आयतन के बेलनों को एक ही ऊँचाई तक उठाया जाता है। बताओ इन दोनों में से किसमें अधिक ऊर्जा होगी।
2. बताओ नदी के एक घन मीटर पानी की स्थितिज ऊर्जा नदी के उद्गम पर अधिक होती हैं अथवा नदी के मुँह पर।
3. उड़ते हुए वायुयान में यांत्रिक ऊर्जा का कौन-सा रूप होता है ?
4. बताओ किस परिस्थिति में विभिन्न भार की दो वस्तुओं की, जिनको विभिन्न ऊँचाइयों तक उठाया गया है, स्थितिज ऊर्जाएँ समान होंगी।

§ 35. ऊर्जा रूपांतरण

तुम जानते हो कि यांत्रिक ऊर्जा दो प्रकार की होती हैं :

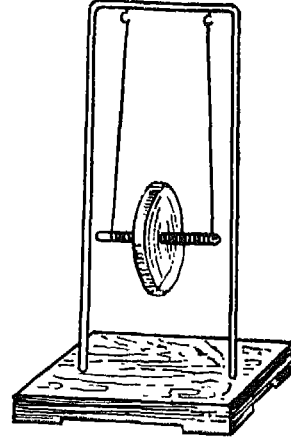
1. गतिज ऊर्जा
2. स्थितिज ऊर्जा

किसी वस्तु की कुल यांत्रिक ऊर्जा, वस्तु की गतिज ऊर्जा और स्थितिज ऊर्जा का योग होती है। जब एक वस्तु को तुम कुछ ऊँचाई तक उठाते हो और उठने के बाद यदि वह विराम अवस्था में होती है तब उसमें केवल स्थितिज ऊर्जा होती है। उस दशा में वस्तु की कुल यांत्रिक ऊर्जा इसकी स्थितिज ऊर्जा के बराबर होती है।

यदि वस्तु क्षैतिज समतल पर चल रही है तो उसमें गतिज ऊर्जा होती है परंतु तल की अपेक्षा उसमें स्थितिज ऊर्जा नहीं होती है। उस दशा में वस्तु की कुल यांत्रिक ऊर्जा उसकी गतिज ऊर्जा के बराबर होती है।

कुछ स्थितियों में वस्तु में दोनों प्रकार की ऊर्जा होती है, जैसे उड़ते वायुयान में। पृथ्वीतल से ऊँचाई पर उड़ने के कारण इसमें स्थितिज ऊर्जा होती है और गतिशील होने के कारण इसमें गतिज ऊर्जा भी होती है। इसी प्रकार से मिजाइल में भी गतिज और स्थितिज दोनों प्रकार की ऊर्जाएँ होती हैं।

निम्नांकित कुछ उदाहरण है जिनमें कि एक ऊर्जा का दूसरी ऊर्जा में रूपांतरण स्पष्ट हो जाता है। स्थितिज ऊर्जा का गतिज ऊर्जा में और गतिज ऊर्जा का स्थितिज ऊर्जा में रूपांतरण के अध्ययन के लिए निम्नलिखित प्रयोग करो।

चित्र 3.48 के अनुसार एक चौखटा लो। इसके दोनों हुकों से धागों के द्वारा एक चकती बाँधो। चकती की धुरी पर धागों को लपेटो। ऐसा करने पर जब चकती ऊपर तक पहुँच जाए

चित्र 3.48 स्थितिज ऊर्जा को गतिज ऊर्जा में और गतिज ऊर्जा को स्थितिज ऊर्जा में बदलने वाला उपकरण।

तब इसको छोड़ दो। छोड़ने पर तुम देखोगे कि इसका नीचे-ऊपर आना जाना चलता रहता है। ऊपर उठाने के कार्य के कारण इसमें स्थितिज ऊर्जा की वृद्धि हो जाती है। ऊपर से नीचे आने पर स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में बदल जाती है। नीचे आने पर इसमें इतनी गतिज ऊर्जा होती है कि यह फिर दुबारा ऊपर को उठती है।

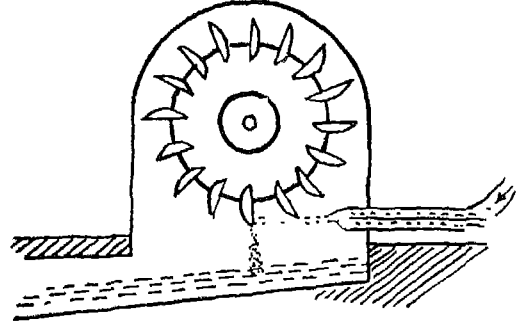
इस प्रकार नीचे गिरने में स्थितिज ऊर्जा का रूपांतरण गतिज ऊर्जा में और ऊपर उठने में गतिज ऊर्जा का रूपांतरण स्थितिज ऊर्जा में होता है।

प्रकृति में होने वाली प्रत्येक घटना में ऊर्जा एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तित होती है। ऊर्जा का एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तित होना **ऊर्जा रूपांतरण** कहलाता है।

नदियों के पानी को किसी ऊँचे स्थान पर रोकने के लिए बाँध (डैम) बनाए जाते हैं। इस प्रकार पानी का तल ऊँचा रहता है। फलतः पानी की स्थितिज ऊर्जा बढ़ जाती है। जब पानी ऊँचाई से गिरता है तब इसकी स्थितिज ऊर्जा गतिज

चित्र 3.49 टरबाइन ।

ऊर्जा में बदल जाती है । जब यह गतिशील पानी टरबाइन के पहियों से गुजरता है तब टरबाइन के पहियों को घुमाता है । टरबाइन के पहिए विद्युत जेनरेटरों से जुड़े होते हैं जो विद्युत पैदा करते है । इस प्रकार यांत्रिक ऊर्जा विद्युत ऊर्जा में रूपांतरित हो जाती है (चित्र 3.49) ।

गतिशील वायु की गतिज ऊर्जा का उपयोग पवन चक्कियों में किया जाता है । गतिशील हवा चक्की के पंखों को घुमाती है । पंखों के घूमने से पाट घूमते हैं और चक्की कार्य करती है । कुओं से पानी खींचने तथा पानी की टंकी में पानी पहुँचाने के लिए भी पवन चक्की का उपयोग किया जाता है ।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. स्थितिज ऊर्जा वाली वस्तुओं और गतिज ऊर्जा वाली वस्तुओं के दो-दो उदाहरण दो ।
2. झरने से पानी के गिरने में और संपीड़ित कमानी को स्वतंत्रतापूर्वक छोड़ने में ऊर्जा रूपांतरण की व्याख्या करो ।

सारांश तथा निष्कर्ष

1. यांत्रिक कार्य तब ही होता है जब कि निम्नलिखित दो प्रतिबंध पूरे होते हैं :
   (1) वस्तु पर बल लगना चाहिए, तथा
   (2) बल के लगने से वस्तु में विस्थापन होना चाहिए ।
2. यांत्रिक कार्य का परिमाण W निम्नलिखित सूत्र की सहायता से निकाला जा सकता है :

   $$W = F \times S$$

   जहाँ F बल और S वह दूरी (विस्थापन) है जो बल के लगने से वस्तु तय करती है ।
3. यांत्रिक कार्य की माप किलोग्राम भार मीटर अथवा जूल इकाइयों में की जाती है ।
   1 किलोग्राम भार मीटर = 1 किलोग्राम भार × 1 मीटर
   1 जूल = 1 न्यूटन × 1 मीटर
4. इकाई समय में होने वाले कार्य के परिमाण को शक्ति (P) कहते हैं ।

   $$P = \frac{W}{t}$$ जहाँ W, t समय में कार्य का परिमाण है

   P = F × V जहाँ F खिचाव बल और V एक समान गति की चाल है ।
   P औसत = F × V औसत जहाँ V औसत असमान गति की चाल है ।
5. शक्ति की निम्नलिखित इकाइयाँ होती हैं :
   (1) $\frac{\text{किलोग्राम भार मीटर}}{\text{सेकंड}}$

(2) वाट

(3) अश्व शक्ति

$$1\frac{\text{कि॰ ग्रा॰ भा॰ मी॰}}{\text{सेकंड}} = \frac{1 \text{ कि॰ ग्रा॰ भा॰ मी॰}}{1 \text{ सेकंड}}$$

$$1 \text{ वाट} = \frac{1 \text{ जूल}}{1 \text{ सेकंड}}$$

$$1 \text{ अश्व शक्ति} = \frac{76 \text{ किलोग्राम भार मीटर}}{1 \text{ सेकंड}}$$

6. बल की क्रिया रेखा और आलंब के बीच की कम से कम दूरी को उत्तोलक की भुजा कहते हैं।

7. बल घूर्ण, बल के परिमाण और उत्तोलक भुजा के गुणनफल के बराबर होता है।

$M = F \times l$ जहाँ M = बल घूर्ण

F = बल

l = उत्तोलक भुजा

8. आलंब के गिर्द जब दक्षिणावर्त और बामावर्त दिशाओं के बल घूर्ण बराबर होते हैं तब उत्तोलक साम्यावस्था में होता है।

$$P \times l_1 = F \times l_2$$

9. व्यवहार में अधिकतर बल में लाभ के लिए ही उत्तोलक का उपयोग किया जाता है।

चूँकि $F = P\frac{l_1}{l_2}$

और $l_2 > l_1$

अतः $F < P$

10. स्थिर घिरनी पर खिंचाव बल (F) जब उठाए जाने वाले बोझ के समान होता है तब स्थिर घिरनी साम्यावस्था में होती है।

$F = P$, जहाँ P उठाए जाने वाले बोझ का भार है।

इस प्रकार की घिरनियों के उपयोग से न तो बल में ही लाभ होता है और न दूरी में ही लाभ होता है। इनका उपयोग तो सुविधा के लिए बल की दिशा के परिवर्तन के लिए ही किया जाता है।

11. चलती घिरनी पर जब खिंचाव बल, उठाए जाने वाले बल के आधे के बराबर होता है तब चलती घिरनी साम्यावस्था में होती है।

$F = \frac{P}{2}$ (जहाँ P उठाए जाने वाले बोझ का बल है)।

इस प्रकार की घिरनियों के उपयोग से बल में दुगुना लाभ होता है परंतु साथ ही साथ दूरी (विस्थापन) में दुगुनी हानि होती है।

12. निम्नलिखित प्रतिबंध के पूरे होने पर बेलन चर्खी साम्यावस्था में रहती है :

$$F \times R = P \times r$$

जहाँ r बेलन का अर्धव्यास और R हत्थे द्वारा जनित वृत का अर्धव्यास है। व्यवहार में बेलन चर्खी का उपयोग बल में लाभ के लिए किया जाता है।

क्योंकि $F = P\frac{r}{R}$ और $\frac{r}{R} < 1$

अत: $F < P$

13. नत समतल पर स्थित वस्तु निम्नलिखित प्रतिबध के पूरे होने पर साम्यावस्था में रहती है :

$$F \times l = P \times h$$

जहाँ l और h नत समतल की क्रमश: लंबाई तथा ऊँचाई है। नत समतल का उपयोग बल में लाभ के लिए किया जाता है।

क्योंकि $F = P\frac{h}{l}$ और $h < l$

अत: $F < P$

14. साधारण मशीन अथवा किसी भी वर्तमान जटिल मशीन के उपयोग से कार्य में कोई लाभ नहीं होता। बल में हमें जितना लाभ होता है उतनी ही विस्थापन में हानि हो जाती है। यदि विस्थापन में लाभ होता है तो बल में उतनी ही हानि हो जाती है।

15. हर तरह की मशीन में घर्षण होता है। इसलिए मशीन द्वारा किया गया उपयोगी कार्य, मशीन पर किए गए कुल कार्य से सदैव कम होता है।

16. प्रत्येक मशीन की अपनी एक विशेषता होती है, जिसे दक्षता कहते हैं। दक्षता की माप, उपयोगी कार्य तथा कुल किए गए कार्य के अनुपात की माप होती है।

$$\eta = \frac{Wu}{Wt} \times 100\%$$

17. गति का संचरण एक भाग से दूसरे भाग में निम्नलिखित तीन प्रकार से किया जाता है :
    (1) मेखला संचरण
    (2) गियर संचरण
    (3) घर्षण संचरण

18. उन सभी वस्तुओं में ऊर्जा होती है जिनमें कार्य करने की क्षमता होती है।

19. यांत्रिक ऊर्जा दो प्रकार की होती है :
    (1) गतिज ऊर्जा, तथा
    (2) स्थितिज ऊर्जा

20. सब गतिशील वस्तुओं मे कुछ गतिज ऊर्जा होती है ।
21. किसी वस्तु की गतिज ऊर्जा का परिमाण निम्नलिखित बातों पर निर्भर करता है :
    (1) वस्तु की चाल पर
    और
    (2) वस्तु की संहति पर
    वस्तु की चाल अथवा संहति अधिक होने से उसकी गतिज ऊर्जा भी अधिक हो जाती है ।
22. वस्तु की स्थितिज ऊर्जा, दूरी पर रखी हुई दो वस्तुओं के मध्य पारस्परिक क्रिया की ऊर्जा (किसी वस्तु की अपेक्षा किसी ऊँचाई तक उठाई गई वस्तु) अथवा एक ही वस्तु के विभिन्न भागों में पारस्परिक क्रिया की ऊर्जा (संपीड़ित अथवा विस्तृत कमानी की ऊर्जा) होती है ।
23. दो वस्तुओं के मध्य पारस्परिक क्रिया की स्थितिज ऊर्जा का परिमाण दो बातों पर निर्भर करता है :
    (1) किसी वस्तु के सापेक्ष वस्तु को उठाई जाने वाली ऊँचाई पर
    और
    (2) वस्तु के भार पर
    वस्तु के भार अथवा उसको उठाई जाने वाली ऊँचाई के अधिक होने से वस्तु की स्थितिज ऊर्जा अधिक हो जाती है ।
24. किसी वस्तु की गतिज और स्थितिज ऊर्जा का योग वस्तु की कुल यांत्रिक ऊर्जा के समान होता है ।
25. प्रकृति की सब घटनाओं में ऊर्जा का एक रूप से दूसरे रूप मे रूपांतरण होता है ।

ऊष्मीय घटनाएँ

§ 36. ऊष्मीय घटना

हमारे चारों ओर वस्तुओं के गर्म या ठंडा होने के कारण उनके अवस्था परिवर्तन से संबंधित बहुत-सी घटनाएँ घटती रहती हैं। हवा का गर्म या ठंडा होना, बर्फ़ का पिघलना, पानी का उबलना और जमना, धातुओं का पिघलना आदि भौतिक घटनाएँ इसीके उदाहरण है। कारखानों में धातुओं को पिघला करके विभिन्न प्रकार की उपयोगी वस्तुएँ बनाई जाती हैं।

गाड़ी के पहिए के ऊपर जब हाल चढ़ाई जाती है तब इसको पहले गर्म करते हैं। गर्म करने से इसमें प्रसार होता है। गर्म करने के पश्चात् इसको पहिए पर चढ़ा दिया जाता है तथा फिर ठंडा पानी डालते हैं जिससे यह सिकुड़ जाती है और पहिए को अच्छी तरह से जकड़ लेती है। इसी प्रकार तवे पर सिकी हुई रोटी को जब आग पर रखते हैं तब रोटी फूल जाती है। इसका फूलना इसके अंदर पानी की वाष्प में प्रसार होने के कारण होता है।

ऊष्मीय घटनाओं के क्रमबद्ध अध्ययन द्वारा ही मनुष्य वाष्प इंजन और अंतर्दहन इंजन बनाने में सफल हो सका। रेलगाड़ी, जलयान, वायुयान, मोटरकार आदि को चलाने में इन इंजनों का उपयोग किया जाता है। जेट इंजनों का हवा में तीव्र चाल से चलना, राकेटों का तेज़ी से ऊपर उठना आदि सब ऊष्मीय घटनाओं के उपयोग पर निर्भर हैं।

§ 37 ताप

अपने घर पर तुमने देखा होगा कि जब चाय बनाने के लिए ठंडे पानी को किसी बरतन में डाल कर जलते हुए स्टोव पर रखते है तब पानी पहले थोड़ा गर्म होता है लेकिन कुछ समय बाद बहुत गर्म हो जाता है यानी पानी इतना गर्म हो जाता है कि उसमें हाथ की उँगली भी नहीं डुबाई जा सकती।

पानी की अलग-अलग स्थितियों को प्रकट करने के लिए हम 'ठंडा', 'साधारण गर्म' और 'बहुत गर्म' शब्दों का प्रयोग करते हैं। दूसरे शब्दों में इन शब्दों का प्रयोग पदार्थों के विभिन्न तापों को बताने के लिए करते हैं।

जलती हुई अँगीठी का ताप ठंडी अँगीठी के ताप से अधिक होता है।

जाड़ों में हवा का ताप गर्मियों में हवा के ताप से काफ़ी कम होता है।

ताप का आभास स्पर्शेन्द्रिय द्वारा होता है। लेकिन इसके तुलनात्मक ज्ञान में हमसे गलती हो सकती है। जैसे—अगर हम अपने दाएँ हाथ को बहुत गर्म पानी में और बाएँ हाथ को ठंडे पानी में एक साथ डुबाएँ और फिर दोनों हाथों को

निकाल कर एक साथ साधारण गर्म पानी में डुबाएँ तो हमारे दाएँ हाथ को पानी ठंडा लगेगा जब कि उसी ताप का पानी बाएँ हाथ को गर्म लगेगा।

इस प्रयोग को करो—

इस प्रयोग से यह स्पष्ट है कि हमारी स्पर्शेन्द्रिय किसी वस्तु का ठीक-ठीक ताप ज्ञात करने में सही काम नहीं करती।

अतः वस्तुओं के ताप का सही-सही माप लेने के लिए तापमापी (थर्मामीटर) काम में लाते हैं।

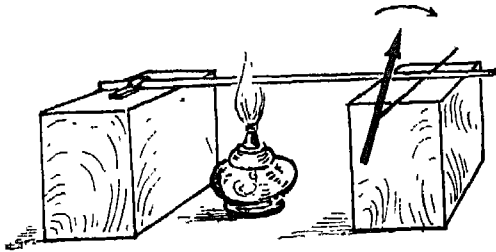
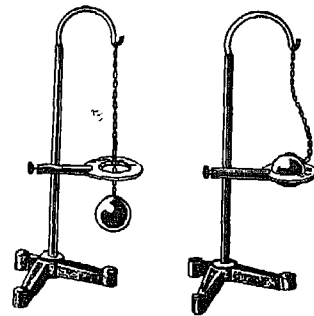
§ 38. ठोसों का प्रसार

गर्म करने पर वस्तुओं का प्रसारित होना भी ऊष्मीय घटना है।

1. ठोसों का प्रसार : गर्म करने पर प्रायः सभी ठोस पदार्थों में प्रसार होता है। ठोसों में यह प्रसार इतना कम होता है कि इसे केवल आँख से देखना संभव नहीं है। कुछ साधारण प्रयोगों द्वारा तुम ठोसों के प्रसार को आसानी से देख सकते हो।

इस्पात का एक पतला तार लो। इसके एक सिरे को लकड़ी के किसी गुटके पर जड़ लो तथा दूसरे स्वतंत्र सिरे को लकड़ी के दूसरे गुटके पर खुला रखो। अब दूसरे गुटके पर तार के नीचे एक पतली सुई रखो और उसकी नोक पर कागज़ का हल्का-सा एक निर्देशक लगाओ (चित्र 4 1)। तार को बीच में धीरे-धीरे गर्म करो। तुम देखोगे कि तार के गर्म होने पर सुई के घूमने के कारण निर्देशक तीर की दिशा में घूमने लगता है। तार को अब गर्म करना बंद करो। जैसे-जैसे तार ठंडा होता है, निर्देशक विपरीत दिशा में घूमने लगता है।

इसी प्रकार इस्पात के तार की जगह तांबे या ऐल्युमिनियम के तार लेकर प्रयोग करने पर तुम देखोगे कि वे भी गर्म करने पर बढ़ते हैं और ठंडा करने पर सिकुड़ते हैं।

ठोसों के प्रसार को सुगमतापूर्वक देखने तथा समझने के लिए निम्नलिखित प्रयोग करो। इस्पात या तांबे का एक ठोस गोला और एक छल्ला लो। छल्ला ऐसा होना चाहिए कि साधारण अवस्था में ठोस गोला इसमें होकर आसानी से बाहर निकल सके। अब छल्ले को स्टैंड पर कसो तथा ठोस गोले को ज़ंजीर से बाँध कर स्टैंड के ऊपरी सिरे से लटकाओ (चित्र 4.2)। साधारण अवस्था में ठोस गोले को

चित्र 4.1 लकड़ी के एक सिरे पर जड़ा हुआ इस्पात का तार गर्म होने पर बढ़ता है। इस कारण तार से दबी हुई सुई घूम जाती है।

चित्र 4.2 (अ) ठंडे गोले को जब छल्ले में से निकालते हैं तब वह आसानी से बाहर निकल जाता है। (ब) लेकिन उसे गर्म करके निकालने पर वह बाहर नहीं निकलता है।

छल्ले में डालने पर वह ग्रासानी से बाहर निकल जाता है (चित्र 4.2 ग्र) । ठोस गोले को गर्म करो । गर्म करने के बाद इसे छल्ले में डालो । डालने पर वह छल्ले से होकर बाहर नहीं निकलता है (चित्र 4.2 ब) । ग्रब गोले को ठंडा होने दो । तुम देखोगे कि ठंडा होते ही गोला छल्ले से होकर बाहर निकल जाता है । इससे सिद्ध होता है कि **ठोस पदार्थ गर्म करने पर ग्रायतन में बढ़ते हैं ग्रौर ठंडा करने पर सिकुड़ते हैं ।**

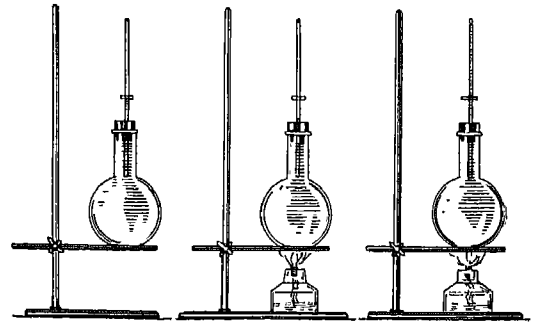
प्रयोगों से यह ज्ञात होता है कि समान ग्राकार के विभिन्न पदार्थों को समान ताप तक गर्म करने पर उनमें ऊष्मीय प्रसार भिन्न-भिन्न होता है । उदाहरण के लिए समान लंबाई की ताबे ग्रौर लोहे की छड़ों को समान ताप तक गर्म करने से उनमें प्रसरण ग्रलग-ग्रलग होता है ।

§ 39. द्रवों का प्रसार

क्या ठोसों की तरह द्रव भी गर्मी पाकर ग्रायतन में बढ़ते हैं ?

इसकी जाँच करने के लिए निम्नलिखित प्रयोग करो :

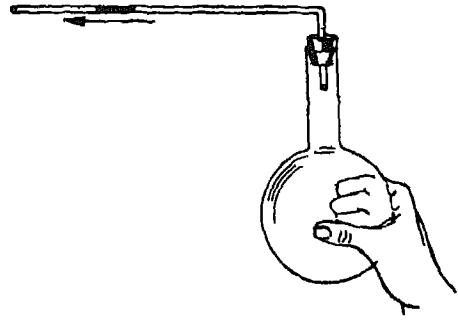
एक फ्लास्क में ऊपर तक पानी भरो । इसके मुँह पर एक छेददार डाट कस कर फिट करो । डाट के छेद में काँच की एक नली लगाग्रो । स्मरण रहे कि नली में कुछ ऊँचाई तक पानी भरा होना चाहिए । नली में पानी के तल का निशान, धागा बाँध कर लगाग्रो (चित्र 4.3 ग्र) । ग्रब फ्लास्क को स्प्रिट लैम्प से धीरे-धीरे गर्म करो । तुम देखोगे कि फ्लास्क के गर्म होने पर नली में पानी का तल पहले तो कुछ नीचे गिर जाता है (चित्र 4.3 ब) । लेकिन इसे कुछ देर ग्रौर गर्म करते रहने पर नली में पानी का तल प्रारम्भिक तल से ऊँचा हो जाता है । नली में पहले पानी का तल गिर जाने का कारण यह है कि गर्म करने पर फ्लास्क का ग्रायतन बढ़ता है जिससे पानी का तल गिर जाता है । इसके बाद ऊष्मा फ्लास्क से पानी में ग्राती है ग्रौर वह गर्म होने लगता है । गर्म होने पर पानी का ग्रायतन भी बढ़ता है । गर्म करने पर ठोसों की ग्रपेक्षा द्रवों में प्रसार ग्रधिक होता है । इसलिए पानी का तल नली में पहले तल की ग्रपेक्षा काफ़ी ऊँचा चढ़ जाता है ।

उपर्युक्त प्रयोग से यह नतीजा निकला कि गर्म करने पर ठोसों की ग्रपेक्षा द्रवों के ग्रायतन में ग्रधिक वृद्धि होती है ।

चित्र 4.3 फ्लास्क में भरे द्रव (ग्र) को गर्म करने पर पहले फ्लास्क ग्रायतन मे बढ़ता है जिससे फ्लास्क में द्रव का स्तर गिर जाता है (ब) परंतु जब द्रव गर्म हो जाता है तब वह ग्रायतन में काफी बढ़ जाता है जिससे फ्लास्क में द्रव का स्तर बढ जाता है (स) ।

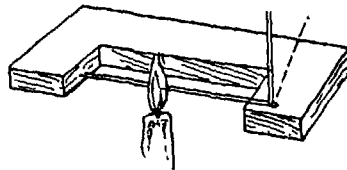
§ 40. गैसों का प्रसार

गर्म करने पर गैसों में भी प्रसार होता है। इसे देखने के लिए निम्नलिखित प्रयोग करो। एक पतली दीवार वाली फ्लास्क के मुँह पर एक छिद्रदार डाट कसकर लगाओ। डाट के छिद्र में समकोण पर मुड़ी हुई काँच की एक नली कसकर लगाओ। काँच की नली में रंगीन पानी की एक बूँद डालो (चित्र 4.4)। अब फ्लास्क को हाथ से स्पर्श कर गर्म करो। तुम देखोगे कि रंगीन पानी की बूँद नली में बाईं ओर को चलने लगती है। अब हाथ हटाकर फ्लास्क को गर्म करना बंद करो। तुम देखोगे कि पानी की बूँद पहली जगह पर ही लौट आती है। फ्लास्क को गर्म करने पर पानी की बूँद बाईं ओर क्यों चली गई ? इसका कारण यह है कि फ्लास्क को गर्म करने पर उसके अंदर की हवा का आयतन बढ़ गया था जिससे पानी की बूँद फ्लास्क में बाईं ओर चली गई थी। फ्लास्क के ठंडा होने पर हवा का आयतन घट गया था जिससे बूँद फिर वापस लौट आई थी। इसी प्रकार फ्लास्क के अंदर कोई अन्य गैस लेकर इस प्रयोग को दोहराओ। इस प्रयोग से यह नतीजा निकलता है कि गर्म करने पर, ठोस और द्रव की अपेक्षा, गैस के आयतन में अधिक वृद्धि होती है। अतः

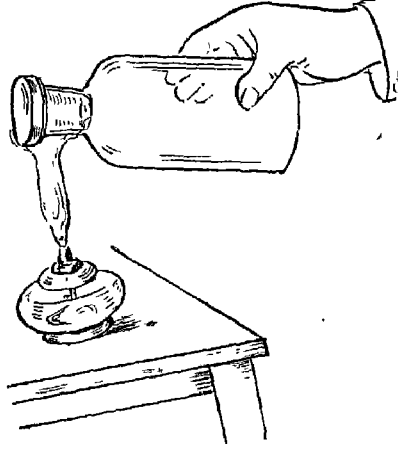
तीनों अवस्थाओं (ठोस, द्रव तथा गैस) में पदार्थ गर्म करने पर आयतन में बढ़ते हैं तथा ठंडा करने पर सिकुड़ते हैं।

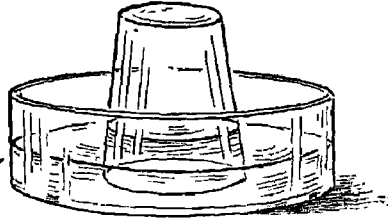
इस नियम के कुछ अपवाद भी हैं।

चित्र 4.4 नली मे डाली गई पानी की बूंद फ्लास्क में भरी हुई गैस के प्रसार को बताती है।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. लकड़ी के एक तख्ते में ऐसा गोल छिद्र है जिसमें होकर एक पैसे का सिक्का आसानी से निकल जाता है। अगर पैसे को गर्म करके उसे छिद्र में से निकालें तो क्या वह उस छिद्र से निकल जाएगा ?
2. एक लकड़ी के तख्ते के बीच में से इतना टुकड़ा काट कर निकाल लो कि कटे भाग के एक तरफ एक बड़ी सुई की नोक को फँसा कर सुई के छेद वाले सिरे को दूसरी तरफ़ तख़्ते पर मुक्त रखा जा सके (चित्र 4.5)। इस सुई के छेद में एक दूसरी

चित्र 4.5 प्रश्न 2 को स्पष्ट करने के लिए चित्र।

सुई डाल कर खड़ी करो (चित्र 4.5)। दूसरी सुई के पास एक तीसरी सुई बिना पहली सुई के छेद में डाले, खड़ी करो। अब पहली सुई को बीच में गर्म करो। तुम देखोगे कि दूसरी सुई अपनी प्रथम स्थिति से, जो तीसरी सुई द्वारा निश्चित होती है, अधिकाधिक झुकती जाती है। इस प्रयोग से क्या नतीजा प्राप्त होता है?

3. तुमने शायद देखा होगा कि जब कभी किसी बोतल के मुँह में काँच की डाट फँस जाती है तब उसे निकालने के लिए बोतल की गर्दन गर्म करनी पड़ती है (चित्र 4.6)। क्यों?

चित्र 4.6 प्रश्न 3 को स्पष्ट करने के लिए चित्र।

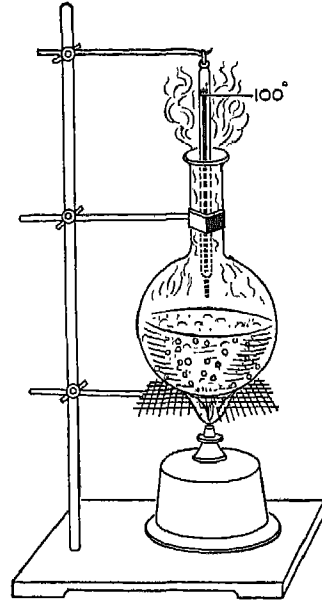
4. बैलगाड़ी के पहिए पर लोहे का हाल चढ़ाने से पहले लोहार हाल को अच्छी तरह गर्म करता है। क्यों?
5. अपने दैनिक जीवन संबंधी कुछ ऐसे उदाहरण दो जिनमें ठोस पदार्थ गर्म करने पर बढ़ते हों तथा ठंडा करने पर सिकुड़ते हों?
6. जाड़े की ऋतु में तुम्हें मिट्टी के तेल का कनस्तर गर्मियों में इस्तेमाल करने के लिए भरवा कर रखना है। क्या तुम उसे तेल से लबालब भरवा लोगे?
7. पतली काँच के एक खाली गिलास को पानी से भरी थाली में उलटा रख कर डुबाओ। गिलास को हाथ से थोड़ी देर तक पकड़े रखो। तुम देखोगे कि गिलास के अंदर की हवा पानी से होकर बुलबुलों के रूप में बाहर निकलने लगती है। इस प्रयोग को अपने घर पर करो और उसकी व्याख्या करो।

चित्र 4.7 प्रश्न 7 को स्पष्ट करने के लिए चित्र।

§ 41. तापमापी

यह तो तुम जानते हो कि पदार्थ गर्म करने पर आयतन में बढ़ जाते हैं और ठंडा करने पर सिकुड़ जाते है। तापमापी बनाने के लिए प्राय: पदार्थों के उष्मीय प्रसार गुण का उपयोग किया जाता है।

तापमापी की बनावट

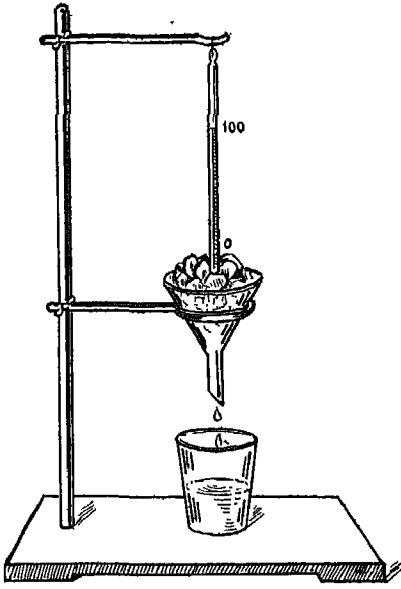
तापमापी मोटी दीवार वाली काँच की केशनली का बना होता है। इस नली के छेद का एकसार होना आवश्यक है। इस नली के निचले सिरे पर छोटी-सी कुप्पी लगी रहती है। नली में पारा भर कर उसे गर्म किया जाता है जिससे पारा आयतन में फैल कर सारी नली को भर देता है। इसके अतिरिक्त यदि पारे के बीच में कोई हवा का बुलबुला हो तो वह भी गर्म करने पर निकल जाता है। इसके बाद नली के ऊपरी सिरे को बंद कर दिया जाता है। अब नली को ठंडा करने पर पारा और नली दोनों ही आयतन में सिकुड़ते हैं, लेकिन नली की अपेक्षा पारे का आयतन अधिक घटता है। इसलिए नली में पारे का तल काफी गिर जाता है जिससे नली में पारे से ऊपर निर्वात हो जाता है।

तापमापी की नली में पारा भर देने के पश्चात् उस पर वाष्पांक और हिमांक बिन्दु लगाए जाते हैं। वाष्पांक बिन्दु लगाने के लिए तापमापी को उबलते पानी की भाप में रखा जाता है (चित्र 4.8)। भाप की गर्मी के कारण पारा नली में ऊपर चढ़ने लगता है। तापमापी को पानी की भाप में तब तक रखा जाता है जब तक कि नली में पारे की ऊँचाई स्थिर न हो जाए। इस ऊँचाई पर रेखा द्वारा निशान लगा कर 100° से० (डिग्री सेल्सियस) लिख दिया जाता है। इसके बाद तापमापी को पिघलती हुई

चित्र 4.8 तापमापी का ऊपरी स्थिर बिन्दु (वाष्पांक) (100° से०) निश्चित करना सामान्य वायु मंडलीय दाब पर।

बर्फ़ में रखा जाता है (चित्र 4.9)। इससे नली का पारा ठंडा होकर सिकुड़ जाता है। पारे के इस तल पर निशान लगा कर 0° से० लिख दिया जाता है।

0° **और** 100° **के बीच की दूरी को** 100 **बराबर भागों में विभाजित कर दिया जाता है जिसका प्रत्येक भाग डिग्री कहलाता है।**

ऐसे ही बराबर दूरी के निशान 100 से ऊपर और 0 से नीचे लगाए जाते हैं।

सामान्य वायु दाब पर पानी के उबलने और बर्फ़ के जमने का ताप स्थिर होता है। अत: इन बिन्दुओं को तापमापी के **स्थिर बिन्दु** कहते हैं। 0° से० से नीचे ताप के लिए अंकित संख्या के

चित्र 4.9 तापमापी का निचला स्थिर बिन्दु (हिमांक) (0° से०) निश्चित करना (सामान्य वायुमंडलीय दाब पर)।

पहले ऋण चिह्न लगा कर लिखा जाता है और ताप को ऋण शब्द लगा कर पढ़ा जाता है। उदाहरण के लिए—15° ताप को ऋण 15° ताप पढ़ा जाता है। इसका अर्थ है 0° से 15° नीचे।

इस प्रकार से अंशांकित तापमापी को सेल्सियस तापमापी कहते हैं (चित्र 4.10 अ)। ऐसा तापमापी सर्वप्रथम सेल्सियस नाम के वैज्ञानिक ने बनाया था।

ताप नापने के लिए अलग-अलग प्रकार के पैमाने इस्तेमाल किए जाते है। जैसे किसी देश में फारेनहाइट पैमाना इस्तेमाल किया जाता है तो किसी में सेल्सियस पैमाना। इसलिए पैमाना विशेष को बताने के लिए सेल्सियस पैमाने द्वारा लिए गए ताप के आगे से० और फारेनहाइट पैमाने द्वारा लिए गए ताप के आगे फा० लिखते हैं। उदाहरण के लिए 20° से०, 25° फा०।

पारा सभी तापों पर द्रव नहीं रहता है। यह—39° से० पर जम जाता है। इसलिए पारे वाले तापमापी से—39° से० नीचे का ताप नहीं नापा जा सकता है। इससे नीचे के ताप को नापने के लिए ऐल्कोहॉल वाले थर्मामीटर इस्तेमाल किए जाते हैं। ऐल्कोहॉल—114° से० पर जमता है और लगभग 80° से० पर उबलता है। पारा 357° से० पर उबलता है। अत: पारे वाला थर्मामीटर काफ़ी ऊँचे तापों को नापने के काम आता है।

तापमापी को किसी स्थान पर रखने से उसके अंदर का पारा अथवा ऐल्कोहॉल उस स्थान के ताप पर आ जाता है इसलिए ताप नापने के लिए तापमापी का उपयोग किया जाता है।

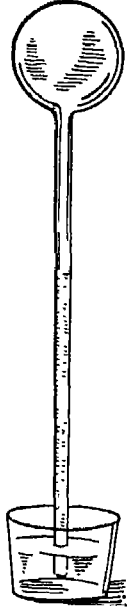
चित्र 4.10 (अ) तापमापी।

§ 42. ताप नापने की विधि

मान लो हमें किसी द्रव का ताप ज्ञात करना है। इसके लिए हम तापमापी को द्रव के बाहर रख कर ताप ज्ञात नहीं करते वरन् द्रव के अंदर इसके निचले सिरे को डुबो कर ज्ञात करते हैं। इसके अतिरिक्त किसी वस्तु का ताप ज्ञात करते समय तापमापी को उस वस्तु के संपर्क में थोड़ी

देर तक रखा रहना आवश्यक है क्योंकि पारे को बढ़ने अथवा सिकुड़ने में थोड़ा समय लगता है। किसी वस्तु का यथार्थ ताप ज्ञात करने के लिए ताप की माप तापमापी को वस्तु से हटाकर नहीं लेनी चाहिए बल्कि वस्तु के संपर्क में ही उसकी माप लेनी चाहिए।

प्रश्न तथा अभ्यास

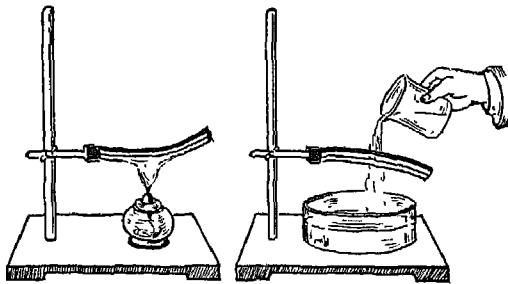
1. दो तापमापियों की नलियों के छेदों के व्यास अलग-अलग हैं। इनकी कुप्पियों में समान संहति का पारा भरा हुआ है। यदि इन दोनों तापमापियों को उबलते हुए पानी की भाप में एक साथ रख दें तो क्या पारे की ऊँचाई दोनों नलियों में समान होगी ?
2. चित्र 4.10 (ब) में 17वीं शताब्दी के समय का तापमापी दिखाया गया है। यह काँच की लंबी तथा पतली नली का बना होता था। नली के एक सिरे पर काँच का बल्ब होता था और दूसरा सिरा खुला रहता था। नली के खुले हुए सिरे को रंगीन पानी में डुबा कर इसे सीधा खड़ा कर दिया जाता था। जब किसी गर्म वस्तु के संपर्क में इस बल्ब को रखते थे तब इसके अंदर की कुछ हवा रंगीन पानी में होकर बाहर निकल जाती थी। क्यों ? इसके बाद जब इसे वस्तु के पास से हटा लिया जाता तब बल्ब के ठंडा होने पर रंगीन पानी नली में चढ़ जाता था। क्यों ? बताओ यह तापमापी किस प्रकार कार्य करता होगा। क्या इस प्रकार के

चित्र 4.10 (ब) प्राथमिक तापमापी

तापमापी द्वारा ली गई मापों पर अस्थिर वायुमंडलीय दाब का प्रभाव पड़ सकता है ?

3. गर्मियों के दिनों में तुमने देखा होगा कि नदी, तालाब आदि का पानी दोपहर की अपेक्षा शाम को अधिक गर्म मालूम होता है। यदि तुम दिन के तीन बजे और शाम को दस बजे एक ही नदी के पानी का ताप लो तो तुम देखोगे कि तीन बजे का लिया हुआ ताप, शाम के दस बजे लिए हुए ताप से अधिक है। इस प्रयोग को करके देखो और इसका कारण ढूँढो।

§ 43. ऊष्मीय प्रसरण की इंजीनियरिंग में उपयोगिता

तुम जानते हो कि गर्म करने पर ठोस पदार्थों का आयतन बढ़ जाता है । परंतु क्या तुम बता सकते हो कि समान ताप तक गर्म करने पर सभी पदार्थों का आयतन बराबर ही बढ़ता है ? संभवत: नहीं । विभिन्न ठोस पदार्थों के प्रसार की तुलना करने पर यह देखा गया है कि गर्म करने पर कुछ ठोसों का आयतन अधिक बढ़ता है और कुछ का कम बढ़ता है। इसकी प्रयोग द्वारा जाँच करो।

लोहे और तांबे की दो छड़ों को एक साथ जोड़ लो (चित्र 4.11)। इसके एक सिरे को स्टैंड में कस कर उसे गर्म करो। छड़ के गर्म होने पर तुम देखोगे कि तांबे की छड़ **उत्तल मोड़** की तरफ़ तथा लोहे की छड़ **अवतल मोड़** की तरफ़ होगी (चित्र 4.11 अ)। अब यदि इस छड़ को ठंडे पानी या बर्फ़ से ठंडा करें तो छड़ विपरीत मोड़ की तरफ़ हो जाएगी (चित्र 4.11 ब)।

चित्र 4.11 द्विधातुक छड़।

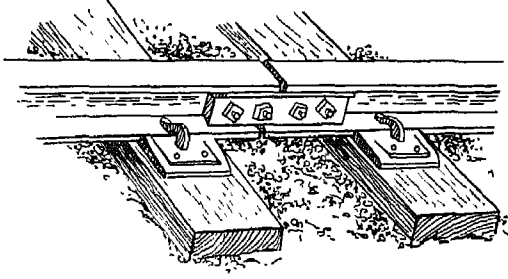
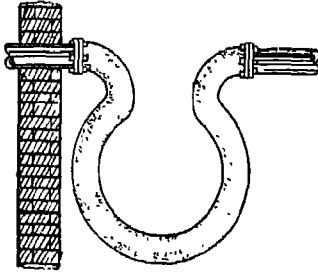
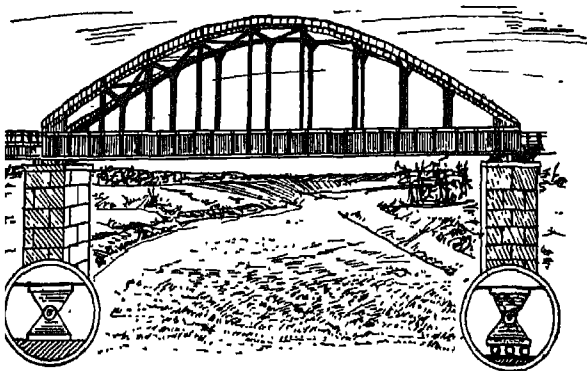
जैसा कि चित्र में दिखाया गया है, छड़ का उत्तल मोड़, अवतल मोड़ की अपेक्षा लंबा है। इस प्रयोग से यह नतीजा निकलता है कि लोहे और तांबे को समान ताप तक गर्म करने पर लोहे की अपेक्षा तांबा अधिक बढ़ता है तथा ठंडा करने पर लोहे की अपेक्षा तांबा अधिक सिकुड़ता है।

कुछ धातुओं की एक मीटर लंबी छड़ का ताप एक डिग्री से० अधिक करने पर लंबाई कितनी बढ़ जाती है यह नीचे दी गई सारिणी में देखो :

काँच	0·010 मि० मी०
लोहा	0·012 मि० मी०
तांबा	0·017 मि० मी०
पीतल	0·018 मि० मी०
ऐल्यूमीनियम	0·024 मि० मी०

इस सारिणी में तुमने देखा कि एक डिग्री से० ताप बढ़ने पर धातुओं में कितना अल्प प्रसार होता है। फिर भी ठोसों के अल्प प्रसार का इंजीनियरिंग में बहुत महत्त्व है।

जब रेल की पटरियाँ बिछाई जाती हैं तब उनके बीच में जोड़ों पर खाली स्थान छोड़ दिया जाता है (चित्र 4.12)। कारखानों में जिन लोहे के पाइपों में होकर भाप जाती रहती है उनमें जगह-जगह कुछ विशेष प्रकार की नलियाँ, जिन्हें 'प्रतिकारित्र' कहते हैं, जुड़ी रहती हैं। इन नलियों

का उपयोग यह है कि भाप की गर्मी से जब पाइप लंबाई में बढ़ जाते हैं तब इन नलियों को मोड़ देते हैं (चित्र 4.13)। जिससे पूरी पाइप लाइन

चित्र 4.12 रेल की पटरियों के प्रसार के लिए उनके जोड़ों पर बीच मे कुछ खाली स्थान छोड़ दिया जाता है।

चित्र 4.13 भाप प्रवाहित होने वाले लोहे के पाइप के बीच में लगी हुई एक प्रतिकारिल नली।

चित्र 4.14 पुलों का एक सिरा स्थिर होता है और दूसरा सिरा रोलरों पर टिका होता है। पुल के गर्म होने पर पुल का प्रसार कोई हानि नहीं पहुँचाता है।

टूटने से बच जाती है। हमारे देश में कहीं-कहीं लोहे के बने लंबे पुलों का एक सिरा स्थिर रखते हैं और दूसरे सिरे को रोलरों पर टिका रखते हैं। (चित्र 4 14)।

पदार्थों के गर्म होने पर फैलने तथा ठंडा होने पर सिकुड़ जाने के गुण का इंजीनियरिंग में बहुत महत्त्व है। उदाहरण के लिए जब बैलगाड़ी के पहिए पर लोहे की हाल चढ़ाई जाती है तब पहले उसे गर्म कर लिया जाता है। बहुत गर्म कर लेने के बाद उसे पहिए पर चढ़ा दिया जाता है और फिर पानी डालकर ठंडी कर देते है। हाल ठंडी होते ही पहिए को जकड़ लेती है जिससे पहिए के टूटने का खतरा मिट जाता है।

गर्म करने पर ठोसों की अपेक्षा द्रवों में अधिक प्रसार होता है। साधारण ताप पर एक लिटर पानी को एक डिग्री से० तक गर्म करने पर उसका आयतन 0·00032 लिटर बढ़ जाता है। जैसे यदि किसी बंद बरतन में भरे द्रव को गर्म करें तो बरतन में बहुत अधिक दाब हो जाने के कारण उसके टुकड़े-टुकड़े हो सकते हैं। साधारणत: जिन बर्तनों में द्रव या गैस को बंद करके रखा जाता है वे काफ़ी मज़बूत बने होते हैं जिससे ताप के कारण बढ़े हुए दाब को वे सहन कर सकें।

गर्म करने पर द्रवों से भी अधिक गैसों के आयतन में वृद्धि होती है। यदि किसी गैस को एक डिग्री से० तक गर्म किया जाए तो उसका आयतन $0°$ पर के आयतन का $\frac{1}{273}$ वाँ भाग बढ़ जाता है।

यदि किसी गैस को बंद बरतन में गर्म किया जाए तो वह आयतन में नहीं बढ़ती इसलिए उसके अंदर दाब $0°$ पर के दाब का $\frac{1}{273}$ वाँ भाग बढ़ जाता है।

§ 44. ऊष्मा का स्थानांतरण

तुमने देखा होगा कि जब खाना पकाने के लिए रसोई घर में अँगीठी या स्टोव जलाया जाता है तब अंदर से रसोईघर काफ़ी गर्म हो जाता है। उसकी गर्म हवा बाहर निकलते ही वह थोड़ी-सी देर में ठंडा हो जातो है। धातु की बनी चम्मच को जब गर्म चाय के प्याले में डालते हैं तब चम्मच कुछ गर्म हो जाती है, जबकि चाय कुछ ठंडी हो जाती है।

उपर्युक्त उदाहरणों से स्पष्ट है कि संपर्क में रखी दो वस्तुओं में अधिक ताप वाली वस्तु हमेशा अपनी ऊष्मा खोती रहती है जबकि कम ताप वाली वस्तु उष्मा प्राप्त करती रहती है। यह प्रक्रम दोनों वस्तुओं के समान ताप के होने तक होता रहता है।

अत: ऊष्मा एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानांतरित की जा सकती है।

ऊष्मा का यह स्थानांतरण एक वस्तु से दूसरी वस्तु में ही नही होता वरन् एक वस्तु के विभिन्न भागों में भी होता है। उदाहरण के लिए यदि हम इस्पात की छड़ के एक सिरे को हाथ से पकड़ कर दूसरे सिरे को लौ पर गर्म करें तो छड़ का दूसरा सिरा भी गर्म हो जाता है।

ऊष्मा का एक वस्तु से दूसरी वस्तु में अथवा एक ही वस्तु के एक भाग से दूसरे भाग में जाना ऊष्मा का स्थानांतरण कहलाता है। ऊष्मा का यह स्थानांतरण अधिक ताप की वस्तु से कम ताप की वस्तु में ही होता है अर्थात् ऊष्मा का स्थानांतरण एक निश्चित ढंग से होता है।

जब वस्तुओं का ताप समान हो जाता है तब उष्मा का स्थानांतरण रुक जाता है और उस अवस्था को ऊष्मीय साम्यावस्था कहते हैं। ऊष्मा के स्थानांतरण की तीन विधियाँ हैं :

1. चालन
2. संवहन
3. विकिरण

§ 45. ऊष्मा का चालन

जब गर्म चाय के गिलास में हम धातु की चम्मच डालते हैं तब चम्मच की डंडी बड़ी जल्दी गर्म हो जाती है। चम्मच का जो भाग गर्म चाय में डूबा रहता है वह शीघ्र ही गर्म हो जाता है और साथ ही वहाँ से ऊष्मा धातु में होकर चम्मच के ठंडे भाग की तरफ संचारित होती रहती है जिससे चम्मच की पूरी डंडी गर्म हो जाती है।

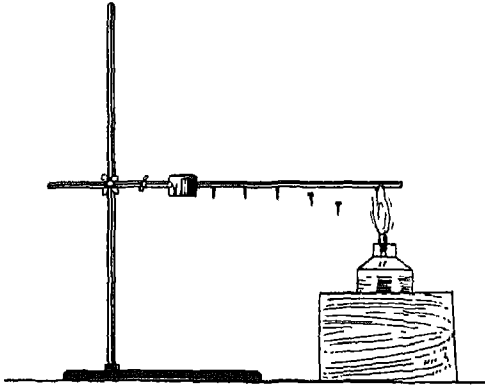
वस्तु के एक भाग से दूसरे भाग को ऊष्मा का स्थानांतरण, चालन कहलाता है।

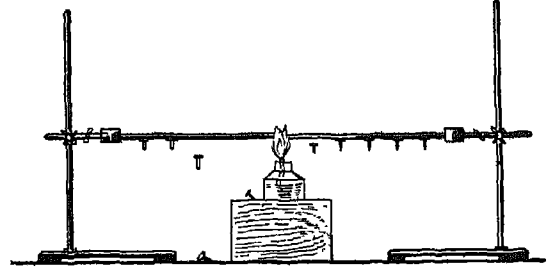
ठोस, द्रव तथा गैसों में ऊष्मा के चालन को हम तुम्हें बहुत से प्रयोगों द्वारा समझाएँगे।

यदि सूखी लकड़ी की डंडी के एक सिरे को हाथ से पकड़ कर उसके दूसरे सिरे को हम जलती हुई आग में रख दें तो हम देखेंगे कि लकड़ी का सिरा जलने लगता है जबकि उसका हाथ वाला सिरा तनिक भी गर्म नहीं होता है। क्यों? इसका कारण यह है कि लकड़ी ऊष्मा की कुचालक है। यदि तुम काँच की छड़ को हाथ से पकड़ कर उसके एक सिरे को स्प्रिट लैम्प की लौ पर गर्म करो तो तुम देखोगे कि छड़ का लौ की ओर वाला सिरा तो गरम हो जाता है जबकि हाथ की ओर वाला सिरा ठंडा ही रहता है। अत: काँच भी ऊष्मा का कुचालक है।

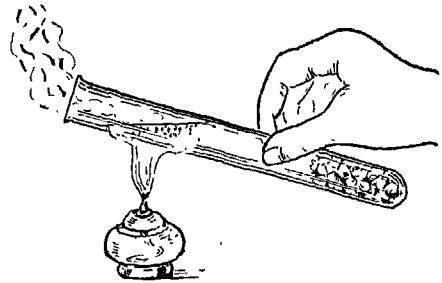
यदि लोहे के छड़ को हाथ से पकड़ कर उसके दूसरे सिरे को गर्म करो तो कुछ समय पश्चात् छड़ का हाथ वाला सिरा भी इतना गर्म हो जाएगा

कि तुम उसे ज्यादा समय तक पकड़े नहीं रख सकते। इससे सिद्ध होता है कि लोहा ऊष्मा का सुचालक है।

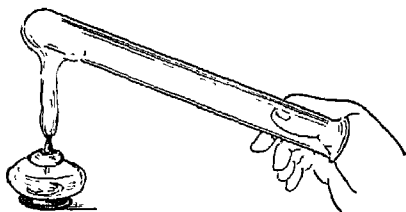
ऊष्मा-चालन को तुम निम्नलिखित प्रयोगों द्वारा और भी अच्छी प्रकार से समझ सकते हो। तांबे के मोटे तार के एक टुकड़े के एक सिरे को स्टैंड में कसो और इस तार पर लोहे की छोटी-छोटी कीलें मोम की सहायता से चिपकाओ (चित्र 4.15)। अब इस तार के दूसरे सिरे को स्प्रिट लैम्प की लौ पर गर्म करो। तार गर्म होने पर मोम पिघलने लगेगा जिससे लोहे की कीलें (एक-एक करके) एक के बाद एक गिरने लगेंगी। तुम देखोगे कि कीलें गर्म किए जा रहे सिरे से गिरना शुरू करती हैं।

चित्र 4.15 तांबे की ऊष्मीय चालकता देखना।

इस्पात तथा तांबे में ऊष्मा के चालन की तुलना तुम निम्नलिखित प्रयोग द्वारा कर सकते हो। चित्र 4.16 की भांति इस्पात तथा तांबे के दो मोटे तारों के टुकड़ों को अलग-अलग स्टैंडों में कस कर उनके खुले सिरों को एक जगह मिलाओ। इन तारों पर छोटी-छोटी कीलें मोम की सहायता से बराबर दूरी पर चिपकाओ। अब दोनों तारों के मिलान बिन्दु को स्प्रिट लैम्प की लौ पर गर्म करो। तारों को गर्म करने पर दोनों तारों का मोम पिघलने लगेगा। परंतु कीलों का गिरना इस्पात के तार की अपेक्षा तांबे के तार पर से पहले शुरू होता है (चित्र 4.16)। इस प्रयोग से यह नतीजा निकलता है कि इस्पात और ताबा दोनों ही ऊष्मा के सुचालक है परंतु इस्पात की अपेक्षा तांबा अधिक सुचालक है।

चित्र 4.16 तांबे और इस्पात की ऊष्मीय चालकता की तुलना।

द्रवों में ऊष्मा चालन को हम निम्नलिखित प्रयोग द्वारा दिखाएँगे।

एक परखनली में पानी भरो। इसमें एक मोम का टुकड़ा भार बाँध कर डालो जिससे वह परखनली की तली में बैठ जाए (चित्र 4.17)। अब परखनली के ऊपरी भाग को स्प्रिट लैम्प से गर्म करो। तुम देखोगे कि नली के ऊपरी भाग का पानी उबलने लगता है लेकिन परखनली की तली का मोम बहुत कम पिघलता है। इसका कारण यह है कि पानी ऊष्मा का कुचालक है।

चित्र 4.17 पानी ऊष्मा का कुचालक है।

गैस ऊष्मा की सुचालक होती है या कुचालक। इसकी जाँच हम हवा के साथ करेंगे।

एक परखनली के मुँह में अपने हाथ का अँगूठा डाल कर परखनली की तली को स्प्रिट लैम्प से गर्म करो (चित्र 4.18)। तुम देखोगे कि नली को देर तक गर्म करते रहने पर भी अँगूठा गर्मी महसूस नहीं करता है।

चित्र 4.18 हवा ऊष्मा की कुचालक है।

उपर्युक्त सभी उदाहरणों से स्पष्ट है कि ऊष्मा की चालकता अलग-अलग वस्तुओं में अलग-अलग होती है।

धातुएँ ऊष्मा की सुचालक होती हैं। इनमें चाँदी और तांबा सबसे अधिक सुचालक हैं। लकड़ी, सीसा और चमड़ा ऊष्मा के कुचालक होते हैं। ऊष्मा के सबसे अधिक कुचालक ऊन, बाल, चिड़ियों के पंख, कागज, एसबस्टस, कार्क, छिद्रदार पदार्थ आदि हैं।

पारा तथा पिघली हुई धातुओं को छोड़कर सभी द्रव ऊष्मा के कुचालक होते हैं। गैसें भी ऊष्मा की कुचालक होती हैं।

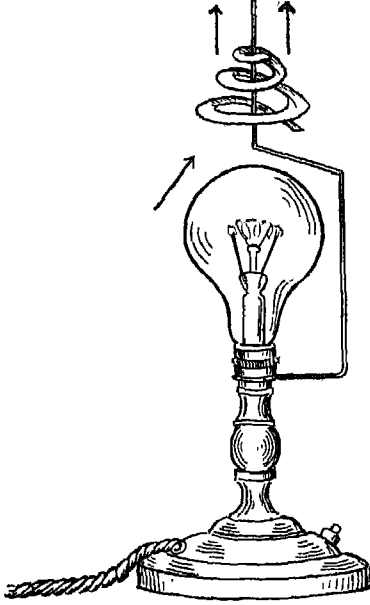
ऊन, रुई तथा रोएँदार कपड़े ऊष्मा के कुचालक होते हैं क्योंकि उनके रेशों के बीच हवा भरी रहती है। तुम जानते हो कि ऊष्मा के चालन के लिए माध्यम आवश्यक है। इसलिए ऊष्मा का पूर्ण कुचालक निर्वात स्थान होता है क्योंकि वहाँ उसे संचरण के लिए कोई माध्यम नहीं मिलता है।

प्रश्न तथा अभ्यास

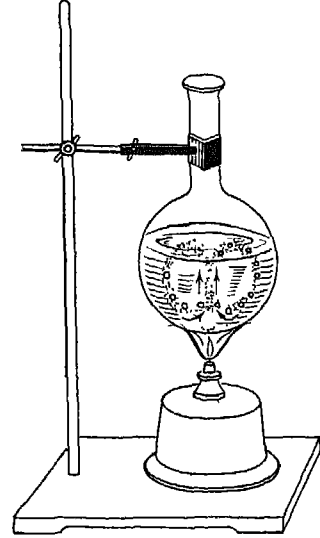
1. बताओ भूसा, सूखी घास, सूखी पत्तियाँ आदि गर्मी की कुचालक क्यों होती हैं।
2. लकड़ी और धातु की बनी वस्तुओं को स्पर्श करने पर लकड़ी की वस्तुओं की अपेक्षा धातु की बनी वस्तुएँ अधिक ठंडी महसूस होती हैं। क्यों?
3. रोएँदार कोट हमें अधिक गर्म रखता है, क्या यह सत्य है? यदि बर्फ़ के टुकड़े को रोएँदार कोट में लपेट कर रख दें तो क्या बर्फ़ पिघल जाएगी?
4. कड़कती सर्दी में तुम नई रजाई ओढ़ना पसंद करते हो या पुरानी, क्यों?
5. बताओ सर्दियों में लकड़ी की छत वाला मकान गर्म रहता है या लोहे की छत वाला।
6. कभी-कभी मोटी दीवाल के गिलास में गर्म चाय डालते ही वह टूट जाता है जब कि काँच की पतली दीवार की परखनली में तुम किसी भी द्रव को उबाल सकते हो। ऐसा क्यों है?

§ 46. ऊष्मा का संवहन

यदि तुम जलते हुए स्टोव या विद्युत बल्ब के पास अपना हाथ ले जाओ तो तुम्हें गर्मी महसूस होगी। यदि तुम किसी जलते हुए विद्युत बल्ब के ऊपर चूड़ी की तरह मोड़े हुए हल्के काग़ज़ के टुकड़े को रख दो तो काग़ज़ ऊपर को उठने लगता है (चित्र 4.19)। जलती हुई अँगीठी पर गीला रूमाल सुखाने के लिए रूमाल को ऊपर हाथ से थाम लेते हैं जिससे अँगीठी से उठती हुई गर्म हवा

रूमाल को सुखा देती है। क्या तुम इन सबका कारण बता सकते हो ?

चित्र 4.19 जलते हुए विद्युत लैम्प के ऊपर सवहन धारा।

आओ इन सब क्रियाओं (प्रक्रमों) का कारण ढूँढें। जलते हुए स्टोव या बल्ब के चारों ओर की हवा उनकी ऊष्मा के कारण गर्म हो जाती है। हवा गर्म होने पर आयतन में फैल जाती है और चारों ओर की ठंडी हवा की अपेक्षा उसका घनत्व कम हो जाता है। आर्किमिडीज के गैसीय सिद्धांत के अनुसार आयतन में बढ़ी हुई कम घनत्व वाली हवा पर चारों ओर की ठंडी हवा का उछाल बल लगता है जिसके परिणामस्वरूप स्टोव या विद्युत बल्ब के चारों ओर की गर्म हवा ऊपर उठ जाती है और उसका स्थान चारों ओर की ठंडी हवा ले लेती है।

जब हम द्रवों को गर्म करते हैं तब उनमें भी इसी प्रकार की क्रिया होती है। किसी बर्तन में रखे द्रव को गर्म करने पर बर्तन की तली का द्रव पहले गर्म होता है। इस गर्म द्रव का घनत्व कम हो जाता है। अधिक घनत्व वाले ठंडे द्रव के उछाल बल के कारण बर्तन की तली का द्रव ऊपर उठ जाता है और इसका स्थान ऊपर का ठंडा द्रव ग्रहण कर लेता है। यह द्रव भी गर्म होने के बाद ऊपर उठ जाता है और इसका स्थान इससे कम ताप वाला द्रव ले लेता है। द्रव को लगातार गर्म करते रहने पर यही क्रम बराबर चलता रहता है। यदि तुम एक फ्लास्क में पानी भर कर उसकी तली में कुछ पोटासियम परमेंगनेट के कण डाल कर गर्म करो तो ऊपर वर्णित क्रिया (प्रक्रम) को तुम भली-भाँति देख सकते हो। फ्लास्क को गर्म करने पर तुम देखोगे कि इसकी तली से बैंगनी रंग की धार चढ़ती है और यह धार ऊपर पानी के तल तक जाकर वापस तली तक आती है (चित्र 4.20)।

चित्र 4.20 द्रवों में संवहन।

गर्म तथा ठंडे पानी का यह परिसंचरण बहुत तीव्रता के साथ होता है जिससे सारा द्रव लगभग समान रूप से गर्म होता रहता है।

द्रव तथा गैसों में ऊष्मा का धाराओं में चलना संवहन कहलाता है।

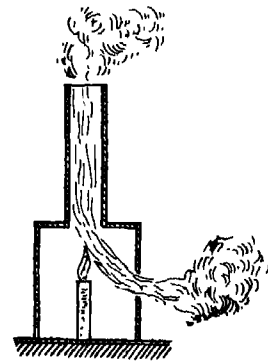
सर्दियों में कमरा गर्म करने के लिए तापक इस्तेमाल करते हैं। संवहन द्वारा ही कमरे की हवा तापक से शीघ्र गर्म हो जाती है।

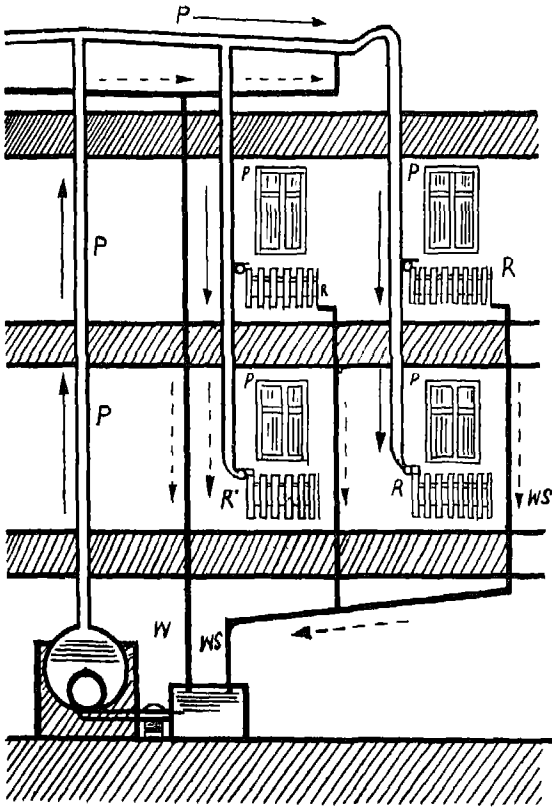
पृथ्वी पर हवा के चलने की दिशा भी ऊष्मा

संवहन पर ही आधारित है। जिस क्षेत्र में ऊष्मा अधिक होती है वहाँ की हवा गर्म होकर आयतन में फैल जाती है और उसके स्थान पर ठंडे क्षेत्र की अधिक घनत्व वाली हवा आती रहती है। विषुवत् रेखीय क्षेत्र के वायुमंडल की गर्म हवा ऊपर उठकर ध्रुवों की तरफ़ बहती रहती है जब कि ध्रुवीय क्षेत्र की ठंडी हवा पृथ्वी की सतह पर होकर विषुवत् रेखीय क्षेत्र की तरफ़ बहती रहती है। समुद्री हवाएँ भी ऊष्मा संवहन के कारण ही बहती हैं। गर्मी के दिनों में सूर्य की ऊष्मा से भूमि, समुद्र के पानी की अपेक्षा, जल्दी गर्म हो जाती है। इसलिए भूमि की सतह पर की हवा गर्म होकर ऊपर उठ जाती है और उसके स्थान पर समुद्र की ठंडी हवा आती रहती है। रात के समय भूमि, समुद्री पानी की अपेक्षा शीघ्र ही ठंडी हो जाती है, जिससे समुद्र की गर्म हवा ऊपर उठती रहती है और उसके स्थान पर भूमि पर की ठंडी हवा आती रहती है। अतः दिन के समय हवा समुद्र से भूमि की तरफ़ और रात के समय हवा भूमि से समुद्र की ओर चलती है।

§ 47. इंजीनियरिंग में ऊष्मा का संवहन

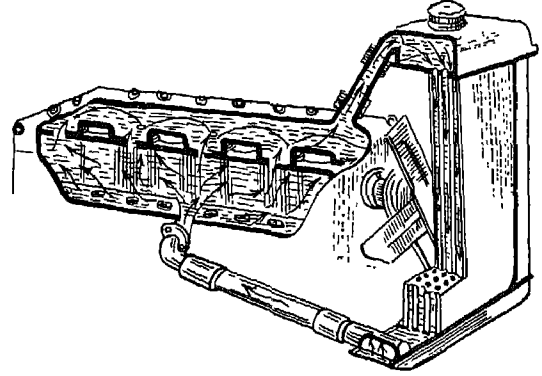
1. वायु प्रवाह : यह तो तुम जानते ही हो कि जलती हुई अँगीठी के चारों ओर की हवा के गर्म होने पर उसका घनत्व कम हो जाता है और वह ऊपर उठ जाती है। इस रिक्त स्थान की पूर्ति के लिए चारों तरफ़ की ठंडी हवा आ जाती है जो गर्म होकर ऊपर उठ जाती है और उसकी जगह फिर आसपास की ठंडी हवा आ जाती है। यही क्रम लगातार चलता रहता है। धुआँ फेंकने वाली चिमनियाँ भी इसी सिद्धांत पर कार्य करती हैं। भट्ठी के चारों ओर की ठंडी हवा का दाब उसके गर्म धुएँ के दाब से अधिक होता है जिससे ठंडी हवा भट्ठी की पेंदी में लगातार आती रहती है और धुआँ चिमनी से होकर ऊपर उठता रहता है। किसी भट्ठी का धुआँ (या गैस) जितना गर्म होगा और उसकी चिमनी जितनी ऊँची होगी उतनी ही चिमनी की गर्म गैस और उसी ऊँचाई की बाहर की ठंडी हवा के भार में अंतर अधिक होगा और इस कारण उतनी ही अधिक चाल से ठंडी हवा भट्ठी में प्रवेश करेगी अर्थात् चिमनी से वायु प्रवाह (धुआँ प्रवाह) उतना ही अधिक होगा।

भट्ठी का धुआँ किस प्रकार चिमनी से होकर बाहर निकलता है, यह चित्र 4.21 में दिखाया गया है। चित्र में बक्स के अंदर रखी मोमबत्ती के जलने से बक्स के अंदर की सारी हवा गर्म हो जाती है जो चिमनी के रास्ते से ऊपर को निकलने लगती है और बाहर की ठंडी हवा धुएँ के साथ बक्स में आती रहती है। फैक्ट्रियों, कारखानों, पावर-स्टेशनों आदि में धुआँ बाहर निकालने के लिए बड़ी-बड़ी चिमनियाँ लगी होती हैं। चिमनियाँ अधिक ऊँची रखने का अभिप्राय यह होता है कि इसमें वायु प्रवाह बढ़ जाए जिससे ईंधन अच्छी तरह जल सके।

चित्र 4.21 चिमनी में वायु प्रवाह स्वतः ही होने लगता है।

2. केन्द्रीय जल तापन—जाड़ों के मौसम में बड़ी-बड़ी इमारतों को गर्म करने के लिए उनके अंदर केन्द्रीय जल तापन व्यवस्था होती है। इसके लिए भवन के निचले भाग में एक वाष्पित्र (बॉयलर) भट्ठी के ऊपर रखा रहता है (चित्र 4 22)। इस वाष्पित्र में पानी गर्म किया जाता है। वाष्पित्र के ऊपरी भाग से एक नलका जुड़ा होता है जो भवन के सबसे ऊँचे स्थान पर स्थित प्रसरण टंकी तक पहुँचता है। इसको प्रसरण टंकी इसलिए कहते हैं कि गर्म होने पर पानी का बढ़ा हुआ आयतन भी इसमे आ जाता है। इस टंकी से कई छोटे-छोटे नलके भवन के विभिन्न कमरों में होते हुए फिर वापस वाष्पित्र से ही संबंधित कर दिए जाते हैं। भवन के कमरों में अलग-अलग रेडिएटर लगे होते हैं जिनमें गर्म पानी छोटे-छोटे नलकों द्वारा घूमता रहता है। ये रेडिएटर अधिकतर कमरे की खिड़की के पास लगाए जाते हैं, क्योंकि खिड़कियों द्वारा ही बाहर से ठंड अधिक आती है। जिन नलकों में होकर गर्म पानी प्रवाहित होता है, वे ताबे के बने होते हैं और उन्हे खूब चमकदार बनाया जाता है। गर्म पानी रेडिएटरों में चक्कर लगा कर दूसरी ओर के नलकों द्वारा एक मुख्य नलके में आ जाता है जिसमें होकर फिर वापस वाष्पित्र में पहुंच जाता है। रेडिएटरों में गर्म पानी प्रवाहित होने से वे गर्म हो जाते हैं लेकिन पानी स्वयं कुछ ठंडा हो जाता है और मुख्य नलके से वापस वाष्पित्र में आ जाता है और दुबारा गर्म होकर फिर ऊपर चढ़ जाता है। पानी का यही क्रम चलता रहता है जिससे पूरा भवन शीघ्र ही गर्म हो जाता है। यदि किसी भवन को हमें ज्यादा गर्म करने की आवश्यकता होती है तो उसके प्रत्येक कमरे में रेडिएटरों की संख्या बढ़ा दी जाती है, जिससे हवा अधिक गर्म हो सके। केन्दीय जल तापन में चालन, संवहन तथा विकिरण तीनों होते हैं परंतु इसमें संवहन ही मुख्य प्रक्रम है।

चित्र 4.22 केन्द्रीय जल तापन

3. अंतर्दाही इंजनों को ठंडा रखने की व्यवस्था—बस या कार से यात्रा करते समय तुमने देखा होगा कि चालक बस चलाने से पहले उसके इंजन में पानी डालता है। क्या तुमने यह भी कभी सोचा है कि इंजन में पानी क्यो डाला जाता है ? अंतर्दाही इंजन के अंदर जब डीजल या पेट्रोल जलता है तब इसके सिलिंडर का ताप 1800° से 2000° से० तक पहुँच जाता है। सिलिंडर की दीवारें भी अत्यधिक गर्म हो जाती हैं, जिससे इंजन की कार्यक्षमता कुछ कम हो जाती है। इसलिए चलते हुए इंजन को ठंडा करते रहना आवश्यक होता है। इंजन को ठंडा करने के लिए

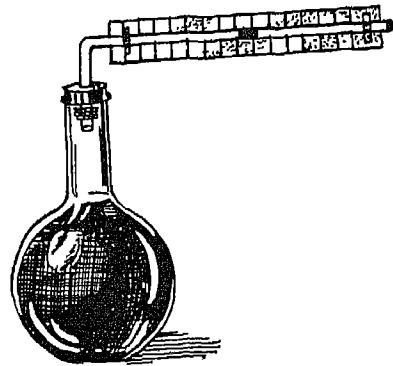
अधिकतर पानी इस्तेमाल किया जाता है। इंजन के अंदर पानी पहले एक टंकी में भरा जाता है जिसे रेडिएटर कहते हैं। इसमें से पानी इजन के सिलिंडरों के चारों ओर चक्कर लगाकर फिर उसी रेडिएटर में आ जाता है। इस व्यवस्था में पानी ऊष्मा के संवहन के कारण इंजन में चारों ओर चक्कर लगाता है। सिलिंडर की गर्म दीवारों से पानी गर्म होकर हल्का हो जाता है और ऊपर उठ जाता है। इसके स्थान में रेडिएटर का ठंडा पानी आ जाता है। यह गर्म पानी ऊपर होकर फिर तेज़ घूमते हुए पंखे से ठंडा हो कर फिर इंजन में चला जाता है (चित्र 4.23)।

आजकल डीज़ल इंजनों के ठंडा रखने की व्यवस्था दूसरे प्रकार की होती है। इसमें रेडिएटर के पास ही एक पंप लगा होता है जो पंखे के साथ-साथ घूमता है। पंप के घूमने से पानी इंजन में पहुँचता है और वहाँ से वापस रेडिएटर में पहुँचता है तथा ठंडा होकर फिर इंजन में पहुँच जाता है, और यही क्रम चलता रहता है।

चित्र 4.23 मोटरकार या ट्रक के अंतर्दाही इंजन को ठडा रखने की व्यवस्था।

§ 48. ऊष्मा का विकिरण

ऊष्मा के स्थानांतरण के दो प्रक्रमों के बारे में तुमने अब तक पढ़ा है। ऊष्मा का स्थानांतरण एक तीसरे प्रकार से भी होता है जिसे हम निम्नलिखित प्रयोग द्वारा दिखाएँगे।

एक फ्लास्क के मुँह पर एक छिद्रदार डाट लगाओ। इसके छिद्र में समकोण पर मुड़ी हुई काँच की एक नली लगाओ। इस नली में थोड़ा-सा रंगीन द्रव भी डालो। फ्लास्क के आधे भाग पर बाहर की ओर कालिख लगाओ तथा समकोण पर मुड़ी हुई नली के साथ एक पैमाना भी लगाओ। इस प्रकार के उपकरण को तापदर्शी (चित्र 4.24) कहते हैं। इस उपकरण का उपयोग हम आगे भी प्रयोगों में करेंगे।

अब इस उपकरण के पास गर्म लोहे का एक बड़ा टुकड़ा कालिख वाले भाग की ओर रखो। कुछ समय बाद तुम देखोगे कि तापदर्शी की नली का रंगीन द्रव दाईं ओर को खिसकने लगता है। द्रव के दाईं ओर खिसकने का कारण यह है कि गर्म लोहे के कारण फ्लास्क कुछ गर्म हो जाता है जिससे इसके अंदर भरी हुई हवा आयतन में फैल जाती है। इतने थोड़े से समय में फ्लास्क कैसे गर्म हो जाता है इसका कारण ढूँढ़ना है। यह तो तुम जानते ही हो कि हवा ऊष्मा की कुचालक है। फ्लास्क के पास रखे गर्म लोहे से

चित्र 4.24 तापदर्शी

ऊष्मा हवा में चालन द्वारा इतनी जल्दी फ्लास्क तक पहुँच नहीं सकती, क्योंकि हवा गर्म होकर ऊपर उठ जाती है और उसके स्थान पर चारों ओर की ठंडी हवा आ जाती है। इसलिए संवहन द्वारा भी ऊष्मा फ्लास्क तक नहीं पहुँच पाई थी। इस प्रयोग में तप्त लोहे से तापदर्शी के फ्लास्क तक ऊष्मा का स्थानांतरण एक अन्य विधि से होता है जिसे विकिरण कहते है। विकिरण में उद्गम से ऊष्मा अदृश्य किरणों द्वारा चारों ओर की वस्तुओं तक पहुँचती है। सूर्य से हमारी पृथ्वी तक ऊष्मा विकिरण द्वारा ही आती है। हमारी पृथ्वी और सूर्य के बीच में वायु रहित स्थान है जिसे शून्याकाश कहते हैं। इसी स्थान में होकर सूर्य से ऊष्मा हमारी पृथ्वी तक आती रहती है। यह ऊष्मा अदृश्य किरणों में विकिरण द्वारा पृथ्वी तक पहुँचती है।

यदि तापदर्शी और तप्त लोहे के बीच में गत्ता रख दिया जाए तो तापदर्शी की नली में रंगीन पानी बिल्कुल भी नहीं खिसकता है। तप्त लोहे और तापदर्शी के बीच में गत्ता रखा होने के कारण ऊष्मा की किरणें फ्लास्क तक नहीं पहुँच पातीं, वे बीच में गत्ते से रुक जाती हैं। इसलिए फ्लास्क गर्म नहीं होता है। व्यावहारिक रूप में भी तुमने देखा होगा कि धूप में छाता लगाकर चलने से उतनी गर्मी महसूस नहीं होती है जितनी बिना छाता लगाए धूप में चलने से होती है।

तप्त वस्तुओं से ठंडी वस्तुओं में ऊष्मा का स्थानांतरण विकिरण के रूप में भी होता है।

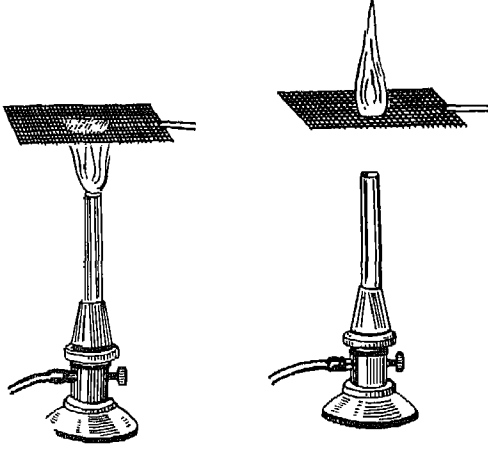
तापदर्शी के फ्लास्क पर जिधर कालिख नहीं की गई है, यदि उधर तप्त लोहे को रखो तो तुम देखोगे कि रंगीन पानी पहले की अपेक्षा नली में धीरे-धीरे खिसकता है। इस प्रयोग से यह नतीजा भी निकलता है कि जिन वस्तुओं की सतह काली होती है वे ऊष्मा का अवशोषण अधिक अच्छी तरह करती हैं और शीघ्र ही गर्म हो जाती हैं तथा जिन वस्तुओं की सतह सफ़ेद होती है, वे ऊष्मा का अवशोषण कम करती हैं और देर में गर्म होती है।

इसके विपरीत जिन वस्तुओं की सतह काली होती है, वे सफ़ेद सतह वाली वस्तुओं की अपेक्षा शीघ्र ही ठंडी भी हो जाती हैं। उदाहरण के लिए काले पेंदे वाली पतीली की अपेक्षा एक सफ़ेद चमकती हुई पतीली में रखा गर्म पानी अधिक देर तक गर्म रह सकता है।

§ 49. ऊष्मा-स्थानांतरण के व्यावहारिक उपयोग

1. **डेवी का निरापद लैंप :** यदि तुम तांबे के तारों की जाली को जलते हुए गैस के बर्नर की लौ के ऊपर रखो तो तुम देखोगे कि जाली से ऊपर बर्नर की लौ दिखाई नहीं देती है (चित्र 4.25 अ)। दूसरे यदि बिना जलाए हुए बर्नर के ऊपर इस जाली को पकड़कर जाली से ऊपर की गैस को जलाओ तो गैस जलने लगती है, लेकिन जाली से नीचे की गैस नहीं जलती है (चित्र 4.25 ब)।

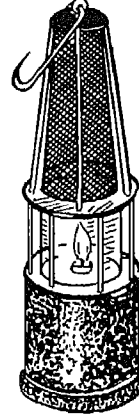
पहली स्थिति में जाली से ऊपर की गैस के न जलने का कारण यह है कि जाली का थोड़ा-सा भाग ही बर्नर की लौ से तप्त होता है। यदि तांबे के तारों की जाली ऊष्मा की कुचालक (अचालक) होती तो जाली का जो भाग बर्नर की लौ से सीधा गर्म होता है वह इतना तप्त हो जाता कि गैस जाली से ऊपर भी जलने लगती। लेकिन तुम यह जानते हो कि तांबा ऊष्मा का सुचालक है, इसलिए जाली का जो भाग बर्नर की लौ से गर्म होता है वह इतनी तेज़ी से चारों ओर ऊष्मा का स्थानांतरण कर देता है कि उस भाग का

ताप ज्वलन-ताप तक पहुँच ही नहीं पाता। जाली की ऊष्मा का स्थानांतरण चालन और संवहन, दोनों रूपों में होता है। इसलिए जाली से ऊपर की गैस जलती नहीं है।

चित्र 4.25 (अ)
जाली के ऊष्मा की सुचालक होने के कारण जाली से ऊपर की गैस जल नही पाती है।

चित्र 4.25 (ब)
तांबे के तारों की जाली ऊष्मा की सुचालक होने के कारण ऊष्मा को चारों ओर फैला देती है जिससे जाली से नीचे की गैस जल नहीं पाती।

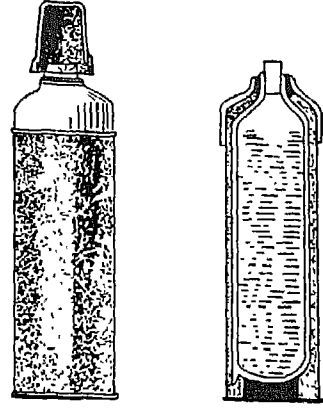
तांबे की जाली के इस गुण का उपयोग डेवी ने अपने निरापद लैंप के बनाने में किया था। कोयले की खानों में साधारण लैंपों का इस्तेमाल नहीं किया जा सकता क्योंकि वहाँ कभी-कभी चट्टानों से ज्वलनशील गैसें निकल आती हैं जो साधारण लैंप की लौ से आग पकड़ लेती हैं जिससे खान में विस्फोट हो जाता है।

इसी कारण डेवी के निरापद लैंप के चारों ओर तांबे की जाली लगी होती है (चित्र 4.26)। इस लैंप की जाली में होकर, यदि कोई ज्वलनशील गैस अंदर पहुँच भी जाए तो वह जाली के अंदर ही जलने लगती है। गैस के जलने से उत्पन्न ऊष्मा को, जाली अपनी सुचालकता के कारण शीघ्र ही चारों तरफ़ स्थानांतरित कर देती है जिससे बाहर की गैस में आग नहीं लगती है।

इस प्रकार के लैंपों का काफ़ी समय तक खानों में इस्तेमाल होता रहा। परंतु अब इसकी जगह बहुत ही सुविधाजनक और सुरक्षित विद्युत लैंप इस्तेमाल किए जाते है।

चित्र 4.26 डेवी का निरापद लैंप।

2. **थर्मस बोतल :** जाड़ों में प्रायः हम सभी गर्म चाय अथवा कॉफी पीना पसंद करते हैं। इसके विपरीत ग्रीष्मकाल में ठंडा पानी या शर्बत पीना पसंद करते हैं। ऐसी चीज़ों को मौसम के अनुसार ठंडा या गर्म रखने के लिए एक विशेष प्रकार का बर्तन काम में लाया जाता है, जिसे थर्मस फ्लास्क (**थर्मस बोतल**) कहते हैं। थर्मस दोहरी दीवारों का बना बोतल की आकृति का बर्तन होता है। इसकी दीवारों के बीच रूई, ऊन, अल्प दाब की हवा अथवा ऊष्मा की कोई अन्य कुचालक वस्तु भर दी जाती है।

द्रवों को ठंडा या गर्म रखने के काम में आने वाली थर्मस बोतल चित्र 4.27 में दिखाई गई है। इसके अंदर काँच की दोहरी दीवार वाला फ्लास्क होता है। फ्लास्क की दीवार की अंदर वाली सतह पर चमकीली धातु की पालिश हुई रहती है।

इन दीवारों के बीच में से निर्वात पंप की सहायता से हवा बाहर खींच ली जाती है। दीवारों के बीच का यह शून्य स्थान ऊष्मा-स्थानांतरण को रोकता है। यदि विकिरण द्वारा ऊष्मा का स्थानांतरण होता है तो दीवारों पर की गई चमकीली पालिश ऊष्मा की किरणों को परावर्तित कर देती है। काँच की दीवारों वाले इस थर्मस को टूटने-फूटने से बचाने के लिए इसे गत्ते या धातु के खोल में रखा जाता है। थर्मस बोतल में कार्क की डाट लगी होती है और इसके ऊपर गत्ते या धातु की टोपी होती है।

चित्र 4.27 थर्मस बोतल।

प्रश्न तथा अभ्यास

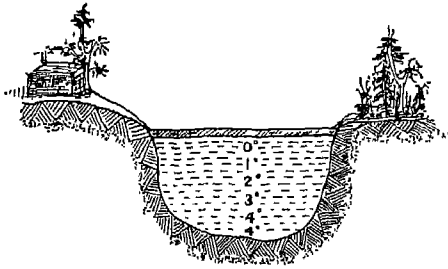
1. यदि दर्पण को सूर्य के प्रकाश में रख दिया जाए तो वह बहुत ही कम गर्म होता है। क्यों ?
2. ग्रीष्मकाल में प्रायः हम हल्के रंग वाले कपड़े पसंद करते हैं। क्यों ?
3. केन्द्रीय जल-तापन के रेडिएटर भवन के कमरों के फ़र्श के समीप ही क्यों लगाए जाते हैं, छतों के समीप क्यों नहीं लगाए जाते हैं ?
4. चाय के लिए पानी गर्म करने वाली केतली को जहाँ हाथ से पकड़ते हैं वहाँ बेंत की लकड़ी मढ़ी रहती है। क्यों ?
5. ठंडे प्रदेशों में पानी के पाइपों के चारों तरफ़ ऊष्मा की कोई कुचालक वस्तु लपेट कर उन्हें मकानों के सहारे जड़ा जाता है। क्यों ?
6. भूसे के अंदर दबी हुई बर्फ़ बहुत कम पिघलती है। क्यों ?
7. हवा ऊष्मा की कुचालक है फिर भी हवा में रखी गर्म वस्तु ठंडी हो जाती है। क्यों ?

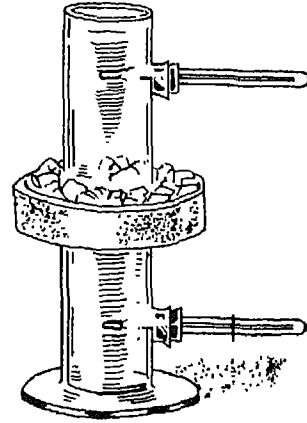
§ 50. पानी का ऊष्मीय प्रसार

संपूर्ण वनस्पति, पशु, पक्षी, मानव आदि सभी के लिए पानी बहुत ही महत्त्वपूर्ण है। पृथ्वी पर पानी न हो तो जीवन असंभव है। वैज्ञानिकों ने पानी के गुणों का अध्ययन बड़ी सावधानी से किया है। प्रायः सभी पदार्थ गर्म करने पर आयतन में बढ़ते हैं। परंतु पानी को जब 0° सें० से 4° सें० तक गर्म करते हैं तब वह आयतन में बढ़ने के बजाय सिकुड़ता है। इसलिए 4° सें० ताप पर पानी का घनत्व और तापों की अपेक्षा अधिक होता है। इस ताप पर पानी का घनत्व

1 ग्रा०/घन सें० मी० होता है। 4° से० ताप से ऊपर और नीचे पानी का घनत्व कुछ कम होता है।

पानी के ऊष्मीय प्रसार की इस विशेषता के कारण जाड़ों में गहरी नदी, झील आदि की तली के पानी का ताप 4° सें० से नीचे नहीं जाता है।

जाड़ों में ठंड के कारण पानी ऊपर की सतह पर ठंडा हो जाता है और भारी हो जाने के कारण तली में चला जाता है। ऊपर से नीचे को पानी का गमन तब तक होता रहता है जब तक कि संपूर्ण पानी का ताप 4° से० के आसपास नही हो जाता। इसके बाद ऊपर का ठंडा पानी नीचे के भारी पानी को नहीं हटा सकता। इसलिए वह ऊपर सतह पर ही ठंडा होता रहता है और अंत में जम जाता है। लेकिन सतह पर जमे पानी के नीचे 0° सें० ताप से अधिक ताप का पानी होता है (चित्र 4.28)। तुम जानते हो कि बर्फ़

चित्र 4.28 जमी हुई झील के अंदर ऊपर से नीचे की ओर पानी के ताप की भिन्न-भिन्न स्थितियाँ।

ताप की कुचालक है इसलिए पानी के ऊपर बर्फ़ की सतह, और अधिक पानी को जमने से रोकती है।

चित्र 4.29 होप का उपकरण।

पानी की इस विशेषता के कारण ही मछली तथा अन्य पानी में रहने वाले जीव, ऊपरी भाग में पानी जम जाने के बाद भी नीचे जीवित रहते है क्योंकि नीचे तली के पानी का ताप 4° से० के लगभग होता है।

पानी की इस विशेषता के अध्ययन के लिए निम्नलिखित प्रयोग करो :

एक लंबे बेलनाकार बर्तन में साधारण ताप पर पानी भरो (चित्र 4.29)। इस बर्तन के बीच चारों तरफ बर्फ़ के टुकड़े डालो। बर्तन के सिरों पर ऊपर नीचे ताप नापने के लिए दो तापमापी लगाओ। ऊष्मा के संवहन के कारण बर्तन के निचले भाग के पानी का ताप 4° सें० हो जाता है और इससे भी ठंडा पानी हल्का होने के कारण बर्तन के ऊपरी भाग में आ जाता है। बर्तन के दोनों सिरों पर लगे तापमापियों की सहायता से ताप ज्ञात करो।

सारांश तथा निष्कर्ष

(1) अधिकांशत: सभी वस्तुएँ प्रत्येक अवस्था (ठोस, द्रव तथा गैस) में गर्म करने पर बढ़ती और ठंडा करने पर सिकुड़ती हैं। 0° सें० से 4° सें० तक गर्म करने पर पानी का आयतन बढ़ता नहीं है, बल्कि सिकुड़ता है।

(2) प्रसरण अथवा संकुचन (सिकुड़न) का परिमाण दो बातों पर निर्भर करता है :

(अ) वस्तु की प्रकृति पर

और

(ब) वस्तु के ताप मे परिवर्तन के परिमाण पर

(3) ताप में समान परिवर्तन होने पर प्रसरण अथवा संकुचन का परिमाण द्रव्य की तीनों अवस्थाओं में अलग-अलग होता है । यह गैसीय अवस्था में अधिक, द्रव अवस्था में कम और ठोस अवस्था में बहुत ही कम होता है ।

(4) भौतिकी और टैक्नॉलोजी में काम में आने वाले अधिकांशत: तापमापी सेल्सियस तापमापी होते हैं । इस प्रकार के तापमापी के पैमाने पर दो आधार बिन्दु होते है :

(अ) 0° सें०—वह ताप जिस पर (सामान्य वायुमंडलीय दाब पर) बर्फ़ पिघलती है ।

(ब) 100° सें०—वह ताप जिस पर (सामान्य वायुमंडलीय दाब पर) पानी का क्वथन होता है ।

(5) ऊष्मा के स्थानांतरण की तीन विधियाँ हैं :

(अ) चालन

(ब) संवहन

(स) विकिरण

(6) सब धातुएँ ऊष्मा की सुचालक होती हैं । रूई, ऊन तथा रबड़ ऊष्मा की कुचालक हैं ।

(7) संवहन, केवल द्रवों और गैसों में ही होता है ।

(8) विकिरित ऊष्मा का परिमाण वस्तु के रंग पर निर्भर करता है । सफ़ेद वस्तुओं की अपेक्षा काली वस्तुओं से ऊष्मा का विकिरण अधिक होता है । अच्छा विकिरक सदैव अच्छा अवशोषक होता है ।

अध्याय 5

ऊष्मा और कार्य

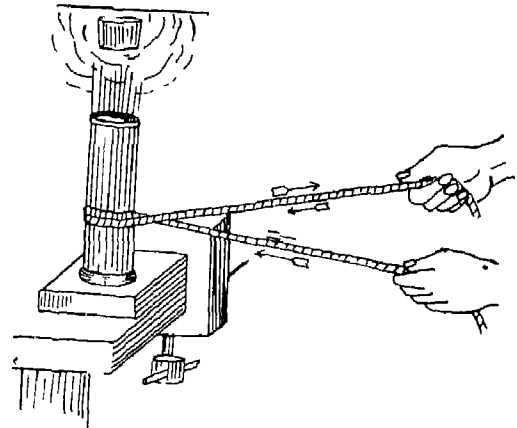
§ 51. घर्षण से, पीटने से और ऊष्मा के स्थानांतरण से वस्तुओं का गर्म होना

ऊष्मीय घटनाओं, ताप और ताप की माप के बारे में तुम जानते हो। ऊष्मा के स्थानांतरण की चालन, संवहन और विकिरण विधियों द्वारा वस्तुओं के गर्म होने के विषय में भी तुम जानते हो।

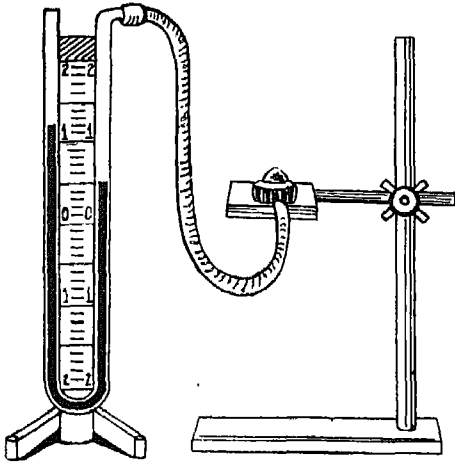
तुमने देखा होगा कि लोहार क़ैंची, चाक़ू आदि की धार पैनी करते समय उन्हें घूमते हुए पत्थर के पहिए से रगड़ता है। रगड़ने पर रगड़ी जाने वाली वस्तु गर्म हो जाती है। पहिया भी गर्म हो जाता है। प्राय: रगड़ने पर घर्षण के कारण ताप इतना बढ़ जाता है कि चिनगारियाँ निकलने लगती हैं।

बाहरी अंतरिक्ष में अत्यधिक तेज़ चलती हुई ठंडी उल्का जब पृथ्वी के वायुमंडल में प्रवेश करती है तब हवा के साथ उसकी इतनी रगड़ होती है कि उससे चिनगारियाँ निकलने लगती हैं। इसी कारण अधिकतर उल्काएँ पृथ्वी पर गिरने से पहले ही जल जाती हैं। प्राचीन काल में मानव लकड़ी से लकड़ी रगड़कर अग्नि पैदा किया करता था।

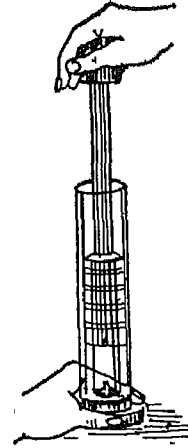
उपर्युक्त उदाहरणों से स्पष्ट है कि रगड़ (घर्षण) से ऊष्मा पैदा होती है। घर्षण से ऊष्मा के पैदा होने का अध्ययन करने के लिए निम्न-लिखित प्रयोग करो।

पीतल की एक नली स्टैंड में कसो। इस नली में थोड़ा-सा ईथर डालो और कस कर डाट लगाओ। इस नली के चारों ओर एक डोरी को चित्र 5.1 की तरह लपेट कर डोरी के सिरे को मथनी की तरह आगे पीछे खींचो। डोरी को कई बार आगे पीछे खींचने पर तुम देखोगे कि डोरी और नली के मध्य घर्षण के कारण नली गर्म हो जाती है। नली के गर्म होने से ईथर उबलने लगती है और इसकी गैस नली की डाट को बाहर धकेल देती है।

चित्र 5.1 घर्षण से धातु की नली गर्म हो जाती है।

इस प्रयोग से यह स्पष्ट होता है कि घर्षण के विरुद्ध जब कार्य किया जाता है तब वस्तु गर्म हो जाती है।

धातु की एक छोटी पेटिका लो। इसका संबंध अलकोहल से भरे मैनॉमीटर से चित्र 5.2 की तरह करो। धातु की पेटिका पर सीसे का टुकड़ा रखो। मैनॉमीटर की माप पढ़ो। यह दोनों नलियों में समान है। सीसे के टुकड़े को पेटिका से हटाकर निहाई पर रखो और हथौड़े से

चित्र 5.2 हथौड़े से चोट मारने से सीसा गर्म हो जाता है।

कई बार चोट मारो। चोट मारने के बाद शीघ्र ही सीसे के टुकड़े को पेटिका पर रखते ही तुम देखोगे कि मैनॉमीटर की दाईं नली में अलकोहल का तल कुछ नीचे गिर जाता है जब कि बाईं नली मे अलकोहल का तल कुछ ऊपर चढ़ जाता है। मैनॉमीटर की दाईं नली में अलकोहल के तल के गिरने का कारण यह है कि सीसे के टुकड़े को हथौड़े से पीटने पर वह गर्म हो गया। फिर गर्म सीसे के टुकड़े को धातु की पेटिका पर रखने से पेटिका गर्म हो गई जिससे पेटिका के अंदर की हवा भी गर्म हो गई। गर्म होने पर हवा का आयतन बढ़ा। इसलिए आयतन में वृद्धि की वजह से मैनॉमीटर की दाईं नली में अलकोहल का तल नीचे गिर गया। इस प्रयोग से यह सिद्ध होता है कि चोट मारने से ऊष्मा उत्पन्न होती है।

काँच की मोटी दीवारों वाला एक सिलिंडर लो और इसमें ईथर से भिगोकर थोड़ी रूई रखो। सिलिंडर में एक पिस्टन कस कर लगाओ। पिस्टन को एकाएक नीचे दबाओ। पिस्टन को दबाने पर तुम देखोगे कि ईथर से भीगी हुई रूई जलने लगती है (चित्र 5.3)।

चित्र 5.3 हवा पर सहसा दाब लगाने से हवा इतनी गर्म हो जाती है कि रूई जल उठती है।

रूई के जलने का कारण यह है कि पिस्टन को एकाएक नीचे लाने से हवा काफ़ी संपीड़ित हो जाती है। फलतः उसका दाब भी अधिक हो जाता है तथा अंदर की हवा गर्म हो जाती है जिससे ईथर (ईथर से भीगी रूई) जलने लगती है। तुमने सिलिंडर के अंदर की हवा को दबाने का कार्य किया और इसी कार्य के फलस्वरूप ऊष्मा उत्पन्न हुई।

अतः उपर्युक्त प्रयोगों से यह स्पष्ट हो जाता कि **यांत्रिक कार्य करने से वस्तुएँ गर्म हो जाती हैं।**

§ 52. वस्तु की आंतरिक ऊर्जा

तुम जानते हो कि प्रत्येक वस्तु छोटे-छोटे अणुओं से मिलकर बनी है। ये अणु हर समय गतिशील रहते हैं। गैसों के अणुओं की चाल बहुत अधिक होती है तथा ये एक-दूसरे से बार-बार टकराते रहते हैं। ये अणु उस बर्तन की दीवार से भी टकराते हैं जिसमें गैस रखी जाती है।

अणुओं की गति सरल रेखा में होती है और इन टक्करों के बीच भी ये सीधी रेखाओं में ही चलते रहते हैं।

द्रवों के अणुओं की चाल गैसों के अणुओं से कम होती है। द्रवों के अणु कंपन करते हैं और परस्पर गतिशील होते हैं। ठोसों के अणु और परमाणु परस्पर गतिशील नहीं होते हैं बल्कि अपनी मध्यमान स्थिति के गिर्द कंपन करते रहते है।

अणुओं में गति होती है इसलिए प्रत्येक अणु में गतिज ऊर्जा होती है। एक अणु की गतिज ऊर्जा बहुत कम होती है लेकिन बहुत बड़ी संख्या में उपस्थित अणुओं की गतिज ऊर्जाओं का योग काफ़ी हो जाता है। किसी वस्तु में अणुओं की गतिज ऊर्जा इस बात पर निर्भर नहीं करती है की वस्तु स्थिर है अथवा गतिशील।

तुम जानते हो कि दो परस्पर क्रियाशील (एक-दूसरे पर बल लगाती हुई) वस्तुएँ जब कुछ दूरी पर होती हैं तब उनमें स्थितिज ऊर्जा होती है। वस्तु के अणु परस्पर क्रियाशील होते हैं तथा दो अणुओं के बीच कुछ दूरी भी होती है इसलिए अणुओं में स्थितिज ऊर्जा भी होती है। अणुओं की पारस्परिक क्रिया की यह स्थितिज ऊर्जा वस्तु की स्थिति के ऊपर निर्भर नहीं करती है। उदाहरण के लिए अणुओं की पारस्परिक स्थितिज ऊर्जा में कोई अंतर नहीं होता है चाहे वस्तु पृथ्वी पर हो अथवा पृथ्वीतल से ऊपर हो। अणुओं की स्थितिज ऊर्जा दोनों अवस्थाओं में समान रहती है।

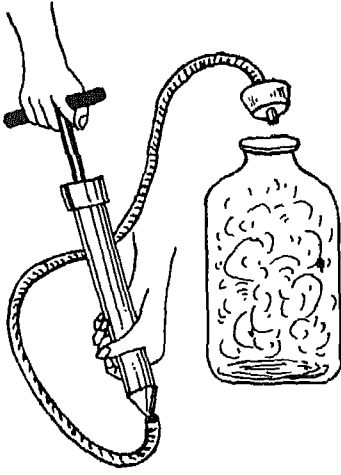
किसी वस्तु के अणुओं की स्थितिज ऊर्जा और गतिज ऊर्जा का योग वस्तु की **आंतरिक ऊर्जा** होती है। अत: किसी वस्तु के अणुओं की आंतरिक ऊर्जा वस्तु की गति पर अथवा अन्य वस्तुओं की तुलना में उस वस्तु की स्थिति पर निर्भर नहीं होती है। इसी कारण वस्तु के अणुओं की ऊर्जा ही वस्तु की आंतरिक ऊर्जा होती है।

§ 53. वस्तु की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

वस्तु की आंतरिक ऊर्जा परिवर्तनशील होती है। उदाहरणार्थ यदि किसी द्रव को गर्म किया जाए तो उसमें विसरण क्रिया तेज़ी से होने लगती है। इसका मतलब यह है कि जब किसी वस्तु को गर्म किया जाता है तब उसके अणु तेजी से घूमने लगते हैं जिससे अणुओं की गतिज ऊर्जा बढ़ जाती है।

जब किसी वस्तु को ठंडा किया जाता है तब उसके अणुओं की गति मंद पड़ जाती हैं जिससे उस वस्तु की आंतरिक ऊर्जा घट जाती है। वस्तु में अणुओं की ऊर्जा के कारण ही कार्य करने की सामर्थ्य होती है। कार्य करने में आंतरिक ऊर्जा का उपयोग होता है इसलिए कार्य करने पर आंतरिक ऊर्जा कम हो जाती है।

वस्तु की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन के अध्ययन के लिए एक प्रयोग करो। प्रयोग करने के लिए मज़बूत दीवारों वाला काँच का एक जार लो। जार में थोड़ा पानी भरो। अब इसका मुँह डाट से कसकर बंद करो। जार में पानी के साथ-साथ पानी की भाप भी होती है। अब जार में पंप से हवा भरो। हवा भरने पर तुम देखोगे कि जार की डाट बाहर निकल जाती है और जार में धुंध फैल जाता है (चित्र 54)। यह धुंध पानी की बहुत ही छोटी-छोटी बूँदों की होती है।

पंप से जब जार में हवा भरी जाती है तब जार के अंदर की हवा कुछ गर्म हो जाती है और थोड़ा पानी गैसीय अवस्था में बदल जाता है

चित्र 5.4 जार में जब संपीड़ित हवा का दाब कम हो जाता है तब इसमें धुंध बन जाती है।

जिससे पानी की भाप की मात्रा बढ़ जाती है। पंप को कुछ देर चलाने पर जब हवा का दाब अधिक हो जाता है तब डाट तड़ाके से बाहर निकल जाती है और जार में धुंध फैल जाती है। जार के अंदर की हवा डाट को बाहर धकेलने का कार्य करती है, जिससे ताप कम हो जाता है। जार की हवा के ताप का इस प्रकार कम हो जाना इस बात को सिद्ध करता है कि दबी हुई हवा की आंतरिक ऊर्जा कम हो गई। ताप के कम हो जाने पर पानी की भाप के द्रवित होने से यह धुंध बन जाती है।

इसको आगे बतलाए गए विवेचन से समझा जा सकता है।

पानी के वाष्प द्वारा किया गया कार्य आंतरिक ऊर्जा के व्यय के कारण होता है। इसका मतलब यह है कि यांत्रिक कार्य के करने में आंतरिक ऊर्जा कम हो जाती है। आंतरिक ऊर्जा में कमी इसकी गतिज ऊर्जा में कमी के कारण होती है। गतिज ऊर्जा में कमी का मतलब है पानी के वाष्प के अणुओं की चाल में कमी होना। अणुओं की चाल में कमी इनके ताप में कमी के कारण होती है।

अब जार के मुँह को दुबारा डाट से कसकर बंद करो। जार में पंप से फिर हवा भरो। हवा भरने पर तुम देखोगे कि पहले बनी धुंध गायब हो जाती है। इसका कारण यह है कि जार में हवा भरने में तुमने जो कार्य किया उसके परिणामस्वरूप दबी हुई हवा की आंतरिक ऊर्जा बढ़ जाती है जिससे हवा का ताप बढ़ जाता है और धुंध की छोटी-छोटी बूँदें फिर भाप में बदल जाती हैं।

उपर्युक्त प्रयोगों और उदाहरणों से यह निष्कर्ष निकलता है कि कार्य होने से वस्तु की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन हो जाता है तथा बिना कार्य के भी ऊष्मा-स्थानांतरण द्वारा (बाहर से ऊष्मा देकर) वस्तु की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन हो जाता है।

ऊष्मा-स्थानांतरण में किसी वस्तु द्वारा लिया हुआ अथवा दिया हुआ आंतरिक ऊर्जा का परिमाण **ऊष्मा की मात्रा** कहलाता है।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. बताओ पंप से साइकिल के पहिए में हवा भरते समय पंप की नली गर्म क्यों हो जाती है?
2. 'किसी वस्तु के अणुओं की औसत गतिज ऊर्जा की माप उसके ताप की माप होती है।' इस कथन से तुम क्या समझते हो? कथन की पूरी व्याख्या करो।
3. बताओ लकड़ी चीरते समय आरी गर्म क्यों हो जाती है?

4. रेलगाड़ी के डिब्बे में ग्रीज़ अथवा तेल डालने वाला, धुरी के उस भाग को जो बेयरिंग के अंदर घूमता है, हाथ से छू कर देखता है। यदि वह उसको अधिक गर्म पाता है तो काफ़ी मात्रा में ग्रीज़ अथवा तेल डाल देता है। क्यों? उत्तर की पूरी व्याख्या करो।
5. यदि मशीनों में काम आने वाली बेयरिंग की गोलियों में यथासमय तेल अथवा ग्रीज़ न डाला जाए तो वे बहुत गरम हो जाती हैं। क्यों?

§ 54. ऊष्मा की मात्रा की इकाई

तुम जानते हो कि कमरे को गर्म करने के लिए जब कम लकड़ियाँ जलाई जाती हैं तब कम ऊष्मा पैदा होती है और कमरा अधिक समय में गर्म होता है। परंतु जब अधिक लकड़ियाँ जलाई जाती हैं तब अधिक ऊष्मा पैदा होती है और कमरा कम समय में ही गर्म हो जाता है। स्पष्ट है कि जितनी अधिक लकड़ियाँ जलाई जाती हैं उतनी ही अधिक ऊष्मा पैदा होती है। उत्पन्न ऊष्मा की मात्रा, जलने वाली लकड़ियों की मात्रा पर निर्भर करती है।

जब वस्तु को गर्म करते हैं तब उसका ताप बढ़ जाता है और जब ठंडा करते है तब उसका ताप कम हो जाता है। इस कथन से तुम्हें यह धारणा नहीं बना लेनी चाहिए कि एक वस्तु के द्वारा ली गई, अथवा दी गई ऊष्मा की मात्रा उसके ताप में वृद्धि अथवा कमी पर ही निर्भर करती है। ताप में वृद्धि होने पर अथवा कमी होने पर वस्तु ने कितनी ऊष्मा ग्रहण की अथवा मुक्त की, इस बात का सही-सही अनुमान नहीं लगाया जा सकता। इस बात के अध्ययन के लिए एक प्रयोग करो।

दो एक-से बर्तन लो। एक बर्तन में जितना पानी लो दूसरे बर्तन में उसका दुगना पानी लो। इन दोनों बर्तनों को समान रूप से गर्म करो। एक निश्चित अवधि तक गर्म करने पर तुम देखोगे कि पानी की अधिक मात्रा वाले बर्तन में पानी का ताप, दूसरे कम पानी वाले बर्तन के पानी के ताप से, कम है। यदि अधिक पानी वाले बर्तन के पानी को भी कम पानी वाले बर्तन के पानी के ताप तक ही गर्म करना है तो इसके लिए अधिक ऊष्मा की आवश्यकता होगी।

यदि एक बर्तन में एक किलोग्राम पानी और दूसरे बर्तन में दो किलोग्राम पानी लें तथा इनको एक निश्चित ताप तक गर्म करना चाहें तो दो किलोग्राम पानी के लिए आवश्यक ऊष्मा, एक किलोग्राम पानी के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा से दूनी होगी।

एक ग्राम पानी का ताप 1° से० से परिवर्तित कराने के लिए आवश्यक ऊष्मा को एक कैलॉरी कहते हैं। ऊष्मा मापन के लिए कैलॉरी को इकाई मानते है। इंजीनियरिंग में ऊष्मा की इकाई किलोकैलॉरी प्रयोग की जाती है।

एक किलोकैलॉरी $=1000$ कैलॉरी

एक किलोकैलॉरी ऊष्मा की वह मात्रा होती है जो एक किलोग्राम पानी का ताप 1° से० से परिवर्तित कराने के लिए आवश्यक होती है।

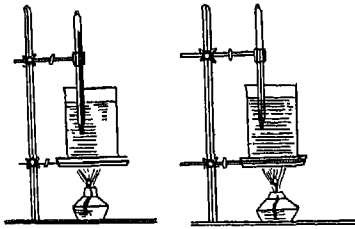
तुम जानते हो कि एक ग्राम पानी का 1° से० ताप बढ़ाने अथवा घटाने में एक कैलॉरी ऊष्मा का परिवर्तन होता है। क्या तुम बता सकते हो कि 500 ग्राम पानी का ताप 1° से० बढ़ाने के लिए कितनी ऊष्मा की आवश्यकता होगी ? तुम जानते हो कि एक ग्राम पानी का ताप 1° से० बढ़ाने के लिए 1 कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता पड़ती है इसलिए 500 ग्राम पानी का ताप 1° से० बढ़ाने के लिए 500 कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता पड़ेगी। यदि पानी की इतनी ही संहति के ताप को 100° से० बढ़ाना चाहें तो कितनी ऊष्मा की आवश्यकता होगी ? तुम जानते हो कि 500 ग्राम पानी का ताप 1° से० बढ़ाने के लिए 500 कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होती है इसलिए 500 ग्राम पानी का 100° से० ताप बढ़ाने के लिए 50,000 (500×100) कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होगी अथवा 50 किलोकैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होगी।

50,000 कैलॉरी = 50 किलोकैलॉरी

जब किसी पदार्थ को गर्म करते हैं तब उसकी आंतरिक ऊर्जा बढ़ जाती है। उपर्युक्त उदाहरण में 500 ग्राम पानी की आंतरिक ऊर्जा 50 किलो-कैलॉरी बढ़ गई।

§ 55. विशिष्ट ऊष्मा

जब समान संहति के विभिन्न पदार्थों को एक निश्चित ताप तक गर्म करते है तब क्या होता है ? इसका अध्ययन करने के लिए निम्नलिखित प्रयोग करो :

चित्र 5.5 की तरह दो एक-से बर्तन लो। इनमें से एक में पानी तथा दूसरे में पानी के समान

चित्र 5.5 समान ऊष्मा पाने से बराबर संहति के पानी और वनस्पति तेल के ताप अलग-अलग परिमाण से बढते हैं।

संहति का वनस्पति तेल डालो। तापमापी से दोनों का ताप ज्ञात कर लो। समान रूप से दोनों को गर्म करो। कुछ समय के बाद पानी और वनस्पति तेल का ताप ज्ञात करो। तुम देखोगे कि पानी की अपेक्षा वनस्पति तेल का ताप अधिक है जबकि दोनों ने समान ही ऊष्मा ग्रहण की है। यदि पानी को भी वनस्पति तेल के ताप तक ही गर्म करना हो तो इसके लिए अधिक ऊष्मा की आवश्यकता होगी। अतः समान संहति के पानी और वनस्पति तेल को किसी निश्चित ताप तक गर्म करने के लिए अलग-अलग ऊष्मा की मात्राओं की आवश्यकता होगी। इस प्रयोग से स्पष्ट है कि समान ताप तक गर्म करने के लिए ऊष्मा की मात्रा पानी के लिए अधिक और वनस्पति तेल के लिए कम चाहिए। इसी प्रकार के प्रयोग विभिन्न पदार्थों को लेकर करो। तुम देखोगे कि विभिन्न पदार्थों की समान संहति को किसी निश्चित ताप तक गर्म करने के लिए अलग-अलग ऊष्मा की मात्राओं की आवश्यकता होती है।

किसी पदार्थ की एक किलोग्राम संहति का 1° से० ताप बढ़ाने अथवा घटाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा को उस पदार्थ की **विशिष्ट ऊष्मा** कहते हैं। इसकी इकाई कि० कै०/कि० ग्रा० डि० से० होती है। विशिष्ट ऊष्मा कैलॉरी/ग्राम डिग्री सेल्सियम (कै०/ग्रा० डि० से०) में भी

प्रदर्शित की जाती हैं। जब पानी की संहति किलोग्राम में दी हो और ऊष्मा की मात्रा किलोकैलॉरी में दी हो तब भी पानी की विशिष्ट ऊष्मा का सांख्यिक मान 1 होता है परंतु 1 कि० कै०/कि० ग्रा० डि० से० लिखी जाती है।

यहाँ यह विचारणीय है कि दो इकाइयों में व्यक्त किसी वस्तु की विशिष्ट ऊष्मा के सांख्यिक मान में कोई अंतर नहीं होता। यह निम्नांकित से स्पष्ट हो जाता है।

$$1\frac{\text{कि०कै०}}{\text{कि०ग्रा०डि०से०}} = 1\frac{1000\ \text{कै०}}{1000\ \text{ग्रा०डि०से०}}$$

$$= 1\frac{\text{कै०}}{\text{ग्रा०डि०से०}}$$

तुम जानते हो कि ऊष्मा स्थानांतरण में वस्तु की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन हो जाता है तथा ऊष्मा स्थानांतरण में वस्तु की आंतरिक ऊर्जा का परिमाण ही वस्तु की ऊष्मा का परिमाण होता है।

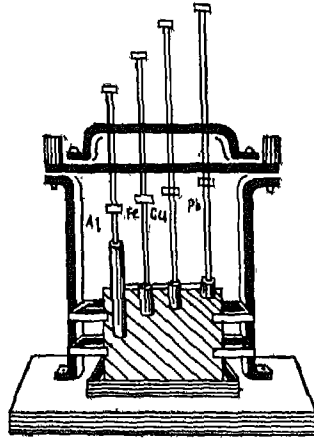
एक ग्राम वस्तु का 1° से० ताप बढ़ाने अथवा घटाने में जो भी आतरिक ऊर्जा में परिवर्तन होगा वह वस्तु की विशिष्ट ऊष्मा के बराबर होगा क्योंकि किसी 1 ग्राम पदार्थ का 1° से० ताप बढ़ाने या घटाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा वस्तु की विशिष्ट ऊष्मा होती है।

कुछ पदार्थों की विशिष्ट ऊष्मा

सीसा	0·03	कै०/ग्रा०	डि० से०
तांबा	0·09	,,	,,
जस्ता	0·09	,,	,,
लोहा	0·11	,,	,,
एल्यूमिनियम	0·21	,,	,,
बरफ़	0·43	,,	,,
वनस्पति तेल	0·47	,,	,,
मिट्टी का तेल	0·51	,,	,,
अलकोहल	0·58	,,	,,
पानी	1·00	,,	,,

अत: एक ग्राम वस्तु की आंतरिक ऊर्जा के परिवर्तन की माप वस्तु की विशिष्ट ऊष्मा की माप होती है यानी किसी पदार्थ की 1 ग्रा० संहति का 1° डि० से० ताप बढ़ाने या घटाने पर पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा उसकी आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन प्रदर्शित करती है।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. धातुओं की विशिष्ट ऊष्मा ज्ञात करने के लिए चित्र 5.6 की तरह का उपकरण प्रयोगशाला

चित्र 5.6 धातुओं की विशिष्ट ऊष्मा के अंतर को दिखाने का उपकरण।

में काम में लाया जाता है। इस उपकरण में एल्यूमिनियम, लोहे, तांबे और सीसे के समान संहति के चार बेलन होते हैं। अब इन चारों बेलनों को खौलते हुए पानी में डालो और कुछ देर गर्म करो। गर्म करने के बाद शीघ्र ही इनको मोम के बर्तन में डालो। बताओ इस प्रयोग से तुम यह कैसे ज्ञात करोगे कि इनमें से किस धातु की विशिष्ट ऊष्मा सबसे अधिक है और किसकी सबसे कम।

§ 56. किसी वस्तु द्वारा गर्म होने में ली गई अथवा ठंडा होने में दी गई ऊष्मा की गणना करना

कोई वस्तु गर्म होने में कितनी ऊष्मा लेती है अथवा ठंडा होने में कितनी ऊष्मा देती है, इस बात की गणना करना व्यावहारिक जीवन के लिए बहुत आवश्यक है। जब कोई वस्तु ऊष्मा लेती है तब वह गर्म हो जाती है और उसका ताप बढ़ जाता है। परंतु जब वस्तु ऊष्मा देती है तब उसका ताप कम हो जाता है और वस्तु ठंडी हो जाती है। ठंडा होने में वस्तु द्वारा दी गई ऊष्मा को वातावरण की वस्तुएँ ग्रहण कर लेती है। ठंडे होने का प्रक्रम गर्म होने के प्रक्रम के विपरीत है। कोई वस्तु एक निश्चित ताप तक गर्म होने में जितनी ऊष्मा लेती है, उतनी ही ऊष्मा उसी ताप तक ठंडा होने में देती है।

किसी वस्तु द्वारा ली गई अथवा दी गई ऊष्मा की गणना करने की विधि निम्नलिखित उदाहरणों से स्पष्ट हो जाती है।

उदाहरण 1. तांबे के एक गोले की संहति 50 ग्राम है। इस गोले को 10° से० से अधिक गर्म करने के लिए आवश्यक ऊष्मा की गणना करो। तांबे की विशिष्ट ऊष्मा 0.09 कै०/ग्रा० डि० से० है।

तांबे की विशिष्ट ऊष्मा 0 09 कै०/ग्रा० डि० से० है। इसका मतलब यह है कि 1 ग्राम तांबे को 1° से० से गर्म करने के लिए 0·09 कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होती है। इसलिए 50 ग्राम तांबे को 1° से० से गर्म करने के लिए $50 \times 0{\cdot}09$ कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होगी।

क्योंकि 50 ग्राम तांबे को 1° से० से गर्म करने के लिए $50 \times 0{\cdot}09$ कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होती है इसलिए 50 ग्राम तांबे को 10° से० से गर्म करने के लिए $50 \times 0{\cdot}09 \times 10$ कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होगी।

अतः 50 ग्राम तांबे को 10° से० से गर्म करने के लिए आवश्यक ऊष्मा

$= 50 \times 0{\cdot}09 \times 10$ कैलॉरी

$= 45$ कैलॉरी

उदाहरण 2. 500 ग्राम लोहे की एक गेंद को 100° से० से गर्म किया जाता है। गर्म करने के बाद इसे पानी में डाल कर 20° से० तक ठंडा किया जाता है। लोहे की विशिष्ट ऊष्मा 0·11 कै०/ग्रा० डि० से० है। लोहे की गेंद द्वारा 100° से० से 20° से० तक ठंडा होने में दी गई ऊष्मा की गणना करो।

लोहे की गेंद का प्रारंभिक ताप 100° से० और अंतिम ताप 20° से० है इसलिए गेंद के ताप का अंतर = 100° से० − 20° से०

= 80° से०

लोहे की विशिष्ट ऊष्मा 0·11 कै/ग्रा० डि० से० है। इसका मतलब यह है कि 1 ग्राम लोहे द्वारा 1° से० से ठंडा होने में 0·11 कैलॉरी ऊष्मा

मुक्त होती है। अतः 500 ग्राम लोहे द्वारा 1° से० तक ठंडा होने में 500×0·11 कैलॉरी ऊष्मा मुक्त होगी।

क्योंकि 500 ग्राम लोहे द्वारा 1° से० तक ठंडा होने में 500×0·11 कैलॉरी ऊष्मा मुक्त होती है इसलिए 500 ग्राम लोहे द्वारा 80° से० से ठंडा होने में 500×0·11×80 कैलॉरी ऊष्मा मुक्त होगी। अतः 500 ग्राम लोहे द्वारा 100° से० से 20° से० तक ठंडा होने मे दी गई ऊष्मा

=500×0·11×80 कैलॉरी

=4400 कैलॉरी

उपर्युक्त उदाहरणों से स्पष्ट है कि वस्तु द्वारा ली गई अथवा दी गई ऊष्मा की गणना करने के लिए वस्तु की संहति तथा विशिष्ट ऊष्मा के गुणन-फल में वस्तु के तापांतर से गुणा किया जाता है।

सूत्र रूप में

ऊष्मा = संहति × विशिष्ट ऊष्मा × तापांतर

यदि दी गई अथवा ली गई ऊष्मा q से,
प्रारंभिक ताप को t_1°,
अंतिम ताप को t_2° और
विशिष्ट ऊष्मा को s से दिखाएँ तो

$$q \text{ (दी गई ऊष्मा)} = s \times m \times (t_1^\circ - t_2^\circ)$$

तथा

$$q \text{ (ली गई ऊष्मा)} = s \times m \times (t_2^\circ - t_1^\circ)$$

प्रश्न तथा अभ्यास

1. सीसे की विशिष्ट ऊष्मा 0·03 कै०/ग्रा० डि० से० है, इस कथन से तुम क्या समझते हो ? उत्तर की पूरी व्याख्या करो।
2. एक वर्तन में 2 किलोग्राम पानी को 5° से० तक गर्म किया जाता है तथा दूसरे बर्तन में 1 किलोग्राम पानी को 10° से० तक गर्म किया जाता है। बताओ दोनों दशाओं में आवश्यक ऊष्मा की मात्राएँ समान होंगी अथवा भिन्न-भिन्न।
3. तांबे और लोहे के दो समान संहति के टुकड़े लो और इनको समान ताप तक गर्म करो। बताओ इनमें से कौन-सा टुकड़ा अधिक ऊष्मा लेगा।
4. 25° से० से 75° से० तक 100 किलोग्राम जिंक के एक टुकड़े को गर्म करने के लिए कितनी किलोकैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होगी ? जिंक की विशिष्ट ऊष्मा 0·09 कि० कै०/कि० ग्रा० डि० से० है।
5. अलकोहल की विशिष्ट ऊष्मा 0·58 कै०/ग्रा० डि० से०, मिट्टी के तेल की विशिष्ट ऊष्मा, 0·51 कै०/ग्रा० डि० से०, वनस्पति तेल की विशिष्ट ऊष्मा 0·47 कै०/ग्रा० डि० से० और पानी की विशिष्ट ऊष्मा 1.00 कै०/ग्रा० डि० से० है। यदि हम इन द्रवों की समान संहित लें और उनको समान रूप से गर्म करें तो बताओ कौन-सा द्रव जल्दी गर्म हो जाएगा।
6. एक एल्युमिनियम के बर्तन की संहति 300 ग्राम है। इस बर्तन में 1 लिटर पानी भरा है। बताओ बर्तन सहित पानी का नाप 15° से० से 20° से० तक बढ़ाने के लिए कितनी ऊष्मा की आवश्यकता होगी।

§ 57. प्रयोगात्मक कार्य (नं० 5)

ठंडे पानी और गर्म पानी के मिलाने पर ली गई और दी गई ऊष्मा की मात्राओं की तुलना

उपकरण तथा सामग्री : दो गिलास, मापक बर्तन, तापमापी

विधि :

1. एक गिलास में 50 ग्राम गर्म पानी और दूसरे गिलास में 50 ग्राम ठंडा पानी लो। दोनों गिलासों के पानी का ताप ज्ञात करो।
2. गर्म पानी वाले गिलास में दूसरे गिलास का ठंडा पानी मिलाओ। मिश्रण को हिलाओ। मिश्रण का ताप ज्ञात करो।
3. गर्म पानी द्वारा प्रारंभिक ताप से मिश्रण के ताप तक ठंडे होने में दी गई ऊष्मा की गणना करो। ठंडे पानी द्वारा प्रारंभिक ताप से मिश्रण के ताप तक गर्म होने में ली गई ऊष्मा की गणना करो।

प्रेक्षणों को निम्नांकित तालिका में लिखो।

गर्म पानी की संहति	गर्म पानी का प्रारंभिक ताप	मिश्रण का ताप	गर्म पानी द्वारा दी गई ऊष्मा की मात्रा	ठंडे पानी की संहति	ठंडे पानी का प्रारंभिक ताप	ठंडे पानी द्वारा ली गई ऊष्मा की मात्रा
...ग्राम	...° से०	...° से०	...कै०	...ग्राम	...° से०	...कै०
...ग्राम	...° से०	...° से०	...कै०	...ग्राम	...° से०	...कै०
...ग्राम	...° से०	...° से०	...कै०	...ग्राम	...° से०	...कै०

4. पानी की विभिन्न संहतियों को लेकर प्रयोग को दुहराओ।
5. गर्म पानी द्वारा दी गई ऊष्मा की, ठंडे पानी द्वारा ली गई ऊष्मा की मात्रा से तुलना करो।
6. बताओ इस प्रयोग में प्रेक्षण लेने में किन-किन त्रुटियों की संभावना हो सकती है। इन त्रुटियों को सुधारने के लिए कौन-कौन-सी सावधानियाँ रखोगे ?

§ 58. ईंधन की ऊर्जा (ईंधन दहन की ऊष्मा)

तुम जानते हो कि घरेलू कामों के लिए कोयला, लकड़ी आदि जलाकर ऊष्मा प्राप्त की जाती है। उद्योगों में कोयला, तेल, गैस आदि ऊर्जा के मुख्य उद्गम हैं।

एक इंजीनियर के लिए मशीन का इंजन बनाते समय इस बात का ज्ञान आवश्यक हो जाता है कि यदि ईंधन की एक निश्चित मात्रा जलाई जाए तो कितनी ऊष्मा पैदा होगी। दैनिक जीवन में काम आने वाले विभिन्न प्रकार के ईंधनों को जलाने पर कितनी ऊष्मा पैदा होती है इस बात का जानना परम आवश्यक है।

एक किलोग्राम ईंधन को पूरी तरह से जलाने पर जितनी ऊष्मा उत्पन्न होती है, उस ऊष्मा को ईंधन दहन की ऊष्मा कहते हैं। यह कि० कै०/कि० ग्रा० में व्यक्त की जाती है। ईंधन दहन की ऊष्मा प्रयोग करके ज्ञात की जाती है।

किसी ईंधन को जला करके प्राप्त ऊष्मा की गणना करने के लिए दो बातों का जानना आवश्यक होता है :

1. ईंधन की संहति

और

2. ईंधन की ईंधन दहन-ऊष्मा

उपर्युक्त इन दोनों राशियों का गुणनफल ईंधन के जलाने से प्राप्त ऊष्मा के बराबर होता है। यदि ईंधन को जलाने से प्राप्त ऊष्मा को q से, ईंधन दहन ऊष्मा को Q से और ईंधन की संहति को m से दिखाएँ तो

$$q = Q \times m$$

कुछ ईंधनों की ईंधन दहन-ऊष्मा

लकड़ी	3,000	कि० कै०/कि० ग्रा०
कोयला	7,000	,, ,,
अलकोहल	7,200	,, ,,
कोयला (लकड़ी का)	8,000	,, ,,
गैस	8,500	,, ,,
डीज़ल तेल	10,500	,, ,,
पेट्रोल	11,000	,, ,,
मिट्टी का तेल	11,000	,, ,,

प्रश्न तथा अभ्यास

1. ईंधन दहन की ऊष्मा से तुम क्या समझते हो ? पूरी तरह बताओ। इसकी इकाई भी बताओ।
2. बताओ 10 किलोग्राम लकड़ी के कोयले को जलाने से कितनी ऊष्मा पैदा होगी।
3. बताओ 45,000 किलोकैलॉरी ऊष्मा प्राप्त करने के लिए तुम कितनी लकड़ियाँ जलाओगे।
4. 45,000 किलोकैलॉरी ऊष्मा प्राप्त करने के लिए कितने मिट्टी के तेल की आवश्यकता पड़ेगी ?

§ 59. ऊष्मीय दक्षता

तुम जानते हो कि ईंधन की एक निश्चित मात्रा को जलाने पर ऊष्मा की एक निश्चित मात्रा उत्पन्न होती है। ईंधन जलाने से प्राप्त ऊष्मा का पूर्ण उपयोग तो हो नहीं पाता। कुछ ऊष्मा

लाभदायक काम में आती है और कुछ व्यर्थ चली जाती है। जैसे किसी बर्तन में रखे पानी को जब गर्म करते हैं तब पानी के साथ-साथ वातावरण की वस्तुएँ भी गर्म हो जाती है। इस प्रकार ईंधन के जलने से जितनी ऊष्मा पैदा होती है, उसका कुछ अंश ही पानी को गर्म करने के काम आता है और शेष ऊष्मा व्यर्थ चली जाती है।

इस प्रकार की बात सभी प्रकार के ईंधनों के लिए सत्य है, जिनको जलाकर विभिन्न कार्यों के लिए ऊष्मा प्राप्त की जाती है। गर्म करने का कैसा ही प्रबंध क्यों न हो, लाभदायक काम के करने में ईंधन दहन ऊष्मा के कुछ अंश का ही उपयोग होता है।

लाभदायक काम करने में उपयोगी ऊष्मा और ईंधन को पूरी तरह जलाने से उत्पन्न कुल ऊष्मा के अनुपात को **ऊष्मीय दक्षता** कहते हैं।

$$\text{ऊष्मीय दक्षता} = \frac{\text{उपयोगी दहन-ऊष्मा}}{\text{कुल दहन-ऊष्मा}}$$

यदि ऊष्मीय दक्षता को η से, उपयोगी दहन-ऊष्मा को q_u से, और कुल दहन-ऊष्मा को q_t से प्रदर्शित करें तो

$$\eta = \frac{q_u}{q_t}$$

मशीन की दक्षता (§29) की तरह ऊष्मीय दक्षता भी प्रतिशत में प्रदर्शित की जाती है।

$$\text{अतः} \quad \boxed{\eta = \frac{q_u}{q_t} \times 100\%}$$

उदाहरण: मिट्टी के तेल वाले स्टोव की सहायता से कुछ पानी गर्म किया जाता है। मिट्टी के तेल को पूरी तरह जलाने पर 100 किलो कैलॉरी ऊष्मा पैदा होती है। इस उत्पन्न ऊष्मा में से केवल 40 किलो कैलॉरी ऊष्मा पानी को गर्म करने के काम आती है। ऊष्मीय दक्षता की गणना करो।

$q_t = 100$ कि० कै०
$q_u = 40$ कि० कै०
η — ?

$$E = \frac{q_u}{q_t} \times 100\%$$
$$= \frac{40 \text{ कि० कै०}}{100 \text{ कि० कै०}} \times 100\%$$
$$0.4 \times 100\%$$
$$= 40\%$$

प्रश्न तथा अभ्यास

1. एक स्टोव में 50 ग्राम मिट्टी का तेल जलाने से 4 लिटर पानी 50° से० से 100° से० तक गर्म हो जाता है। स्टोव की ऊष्मीय दक्षता की गणना करो।
2. एक स्टोव की ऊष्मीय दक्षता 30% है। बताओ 2 लिटर पानी को 20° से० से 100° से० तक गर्म करने के लिए इस स्टोव में जलाने के लिए कितने मिट्टी के तेल की आवश्यकता पड़ेगी।

§ 60. प्रयोगात्मक कार्य (नं० 6)

ऊष्मीय दक्षता की गणना करना

उपकरण तथा सामग्री :

स्प्रिट लैंप, तापमापी, तुला तथा भार, पानी, काँच का मापक बर्तन, धारक (होल्डर)।

विधि :

1. बर्तन में 150 या 200 ग्राम पानी लो और उसका ताप ज्ञात करो।

2. प्रयोग करने से पहले स्प्रिट (एलकोहल) सहित लैंप की संहति ज्ञात करो।
3. पानी को (लगभग 50°—60° से०) गर्म करो और उसका ताप ज्ञात करो।
4. प्रयोग करने के बाद स्प्रिट (एलकोहल) लैंप की संहति ज्ञात करो।
5. प्राप्त प्रेक्षणों को निम्नांकित तालिका में लिखो।

स्प्रिट (एलकोहल)					पानी			
स्प्रिट सहित लैंप की संहति m_1	प्रयोग के बाद लैंप की संहति m_2	जली हुई स्प्रिट की संहति $m = m_1 - m_2$	स्प्रिट जलने से प्राप्त ऊष्मा $q_t = Q \times m$	पानी की संहति m_3	पानी का प्रारंभिक ताप t_1°	पानी का अंतिम ताप t_2°	पानी द्वारा ली गई ऊष्मा $q_u = s \times m_3 \times (t^\circ_2 - t^\circ_1)$	$\eta = \frac{q_u}{q_t} \times 100\%$
...ग्राम	ग्राम	...ग्राम	...कि० कै०	...ग्राम	. °से०	...°से०	...कि० कै०	
...ग्राम	...ग्राम	...ग्राम	.. कि० कै०	...ग्राम	...°से०	...°से०	..कि० कै०	
...ग्राम	...ग्राम	.. ग्राम	...कि० कै०	...ग्राम	...°से०	...°से0	...कि० कै०	

6. इस प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षणों की सहायता से स्प्रिट लैंप की ऊष्मीय दक्षता की गणना करो।

§ 61. ऊष्मीय इकाई और कार्य की इकाई में संबंध

तुम जानते हो कि जब किसी बर्तन में भरी हुई हवा को दबाते हैं तब संपीड़ित होने पर हवा गर्म हो जाती है। पिछले एक प्रयोग (§51) में जब सीसे के टुकड़े को हथौड़े से पीटा गया तब सीसे का टुकड़ा गर्म हो गया। तुम यह भी जानते हो कि गर्म होने पर वस्तु की आंतरिक ऊर्जा बढ़ जाती है। इन उदाहरणों में बर्तन की हवा और सीसे का टुकड़ा यांत्रिक कार्य की वजह से ही गर्म होते हैं इसलिए यह स्पष्ट हो जाता है कि वस्तु पर कार्य करने से आंतरिक ऊर्जा बढ़ जाती है।

यदि बर्तन की हवा को या सीसे के टुकड़े को सीधे ही तरीके से उष्मा दें तो भी बर्तन की हवा अथवा सीसे का टुकड़ा गर्म हो सकता है। यानी बिना कार्य किए भी ऊष्मा-स्थानांतरण की विधियों द्वारा किसी वस्तु को गर्म किया जा सकता है अर्थात आंतरिक ऊर्जा बढ़ाई जा सकती है।

इस प्रकार किसी वस्तु की आंतरिक ऊर्जा, वस्तु को सीधे ही ऊष्मा देने से अथवा यांत्रिक कार्य के करने पर उत्पन्न ऊष्मा से, बढ़ जाती है। इसका मतलब यह है कि यांत्रिक कार्य और उसके फलस्वरूप उत्पन्न ऊष्मा में कुछ संबंध है।

यांत्रिक कार्य और उसके फलस्वरूप उत्पन्न

ऊष्मा के सबंध को सबसे पहले जेम्स जूल नाम के एक ब्रिटिश वैज्ञानिक ने ज्ञात किया था। किसी वस्तु को एक किलो कैलॉरी ऊष्मा देने से उसकी आंतरिक ऊर्जा में जितनी वृद्धि होती है, उतनी वृद्धि कितने यांत्रिक कार्य से होती है, इस बात का उन्होंने प्रयोगात्मक अध्ययन किया। प्रयोगात्मक कार्य से पता चला कि 4184·6 जूल कार्य करने से एक किलो कैलॉरी ऊष्मा उत्पन्न होती है।

4184·6 जूल = 1 कि० कै०
= 1000 कै०
4·18 जूल = 1 कै०
1 जूल = 0·24 कै०
9.8 जूल = 1 कि० ग्रा० भा० मी०
∵ 4184 6 जूल = 427 कि० ग्रा० भा० मी०
∴ अतः 1 कि० कै० = 427 कि० ग्रा० भा० मी०

उदाहरण 1 : 20923 जूल कार्य करने से उत्पन्न ऊष्मा का परिमाण किलो कैलॉरी में बताओ।

चूँकि 4184·6 जूल कार्य करने से 1 किलो कैलॉरी ऊष्मा उत्पन्न होती है, अतः 1 जूल कार्य करने से $\frac{1}{4184 \cdot 6}$ किलो कैलॉरी ऊष्मा उत्पन्न होती है।

इसलिए 20923 जूल कार्य करने से $\frac{20923}{4184 \cdot 6}$ किलो कैलॉरी (5 किलो कैलॉरी) ऊष्मा उत्पन्न होगी।

अतः 20923 जूल कार्य से 5 किलो कैलॉरी ऊष्मा उत्पन्न होगी।

उदाहरण 2 : 10 किलो कैलॉरी ऊष्मा के समान यांत्रिक कार्य (कि० ग्रा० भा० मी०) की गणना करो।

∵ 1 किलो कैलॉरी = 427 कि० ग्रा० भा० मी०
∴ 10 किलो कैलॉरी = 10 × 427 कि०ग्रा०भा०मी०
= 4270 कि० ग्रा० भा० मी०

§ 62. ऊर्जा-संरक्षण और ऊर्जा-रूपांतरण का नियम

(i) जब एक वस्तु स्वतंत्रतापूर्वक गिरती है तब उसकी स्थितिज ऊर्जा कम होती जाती है तथा गतिज ऊर्जा बढ़ती जाती है। यदि हवा के प्रतिरोध बल को नगण्य मानें तो इसकी स्थितिज ऊर्जा में कमी इसकी गतिज ऊर्जा में वृद्धि के समान होती है। जब यह (गिरती हुई वस्तु) पृथ्वीतल से टकराती है तब इसकी और पृथ्वी की आंतरिक ऊर्जा बढ़ जाती है क्योंकि दोनों के ताप में वृद्धि हो जाती है।

(ii) जब एक उल्का बाहरी अंतरिक्ष से आती है तब इसकी स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा में बदल जाती है। जब यह पृथ्वी के वायुमंडल में प्रवेश करती है तब हवा के घर्षण के कारण इसकी चाल कम हो जाती है जिससे इसकी गतिज ऊर्जा कम हो जाती है लेकिन इसकी और हवा की आंतरिक ऊर्जाएँ बढ़ जाती हैं। कारण यह है कि घर्षण से ताप में वृद्धि होती है।

(iii) यदि दो बर्तनों में विभिन्न ताप का पानी लें और उनको आपस में मिला दें तो मिश्रण थोड़ी देर में एक-से ताप का हो जाएगा। अधिक ताप का पानी, कम ताप वाले पानी को, ऊष्मा देगा और कम ताप वाला पानी, अधिक ताप वाले पानी से ऊष्मा लेगा। इस प्रकार गर्म पानी द्वारा दी गई आंतरिक ऊर्जा का परिमाण ठंडे पानी द्वारा ली गई आंतरिक ऊर्जा के परिमाण के समान होगा।

(iv) जब भाप के इंजन के बॉयलर (क्वथनित्र) में ईंधन जलाया जाता है तब ईंधन की ऊर्जा का रूपांतर भाप की ऊर्जा में हो जाता है। भाप की ऊर्जा की वजह से पिस्टन गतिशील होता

है। इस प्रकार भाप की ऊर्जा का रूपांतरण यांत्रिक ऊर्जा में हो जाता है।

उपर्युक्त उदाहरणों से स्पष्ट है कि प्रकृति में सभी प्रकार के प्रक्रमों एवं सभी प्रकार की मशीनों में ऊर्जा का केवल रूपांतरण होता है। ऊर्जा का परिमाण सदैव स्थिर रहता है। इसके परिमाण में कोई परिवर्तन नहीं होता। **प्रकृति में होने वाली सभी घटनाओं में ऊर्जा न तो पैदा की जा सकती है और न नष्ट की जा सकती है। केवल इसका रूप ही परिवर्तित होता है।** यह नियम ऊर्जा-संरक्षण और ऊर्जा-रूपांतरण का नियम कहलाता है।

§ 63. सूर्य हमारे लिए ऊर्जा का मुख्य उद्गम

तुम जानते हो कि ऊष्मा तथा प्रकाश प्राप्त करने के लिए ईंधन, जैसे लकड़ी, लकड़ी का कोयला, पत्थर का कोयला, मिट्टी का तेल आदि जलाए जाते हैं। परंतु पृथ्वी पर प्रकाश तथा ऊर्जा का उद्गम मुख्य रूप से सूर्य है। सूर्य का प्रकाश पृथ्वीतल पर पड़ता है। सूर्य से प्राप्त ऊष्मा और प्रकाश पर ही वनस्पतियों का जीवन आधारित है। वनस्पतियों के जीवन के लिए आवश्यक ऊर्जा सूर्य से प्राप्त होती है। वनस्पतियों का हम, अपने भोजन तथा ईंधन के रूप में उपयोग करते हैं। कोयला जो कि ऊष्मा का एक उद्गम है, पृथ्वी के जंगलों के दब जाने की वजह से बना है। प्राचीन काल में पृथ्वी का एक बड़ा भाग जंगलों से आच्छादित था। भूचाल आदि के कारणों से वे जंगल पृथ्वी के गर्त में चले गए तथा पर्याप्त समय में कोयलो के रूप में परिवर्तित हो गए।

पृथ्वी के वायुमंडल में हवाओं का चलना सूर्य द्वारा अविरत रूप से पृथ्वी के तल के गर्म होने के कारण है। समुद्रों, झीलों, नदियों आदि का पानी सूर्य की किरणों द्वारा वाष्प में बदलता रहता है। पानी के इस वाष्पन से हवा आर्द्र होकर काफ़ी ऊँचाई तक उठ जाती है। फलस्वरूप बादल बन जाते हैं। हवाओं के द्वारा बादल एक स्थान से दूसरे स्थानों को ले जाए जाते हैं। इस प्रकार हर स्थान पर वर्षा होती है। पानी का यह महत्त्वपूर्ण चक्र सौर ऊर्जा के कारण ही है। वाष्पन एक अविरत प्रक्रम है और सौर **ऊर्जा** के कारण है।

सौर ऊर्जा का उपयोग वनस्पतियों की वृद्धि में होता है। जीव-जंतुओं का जीवन वनस्पतियों पर आधारित है। वनस्पतियाँ सूर्य की किरणों की ऊर्जा तथा पानी पर आधारित हैं, जो वर्षा के रूप में मिलता है। पृथ्वी पर पड़ने वाले सौर विकिरणों का परिमाण प्रयोगात्मक रूप से ज्ञात किया जा सकता है। जब सूर्य की किरणें (सौर विकिरण) पृथ्वी तल पर लांबिक रूप से पड़ती है तब एक वर्ग सें० मी० क्षेत्र पर पड़ने वाले विकिरणों से 2 कैलॉरी ऊष्मा प्रति मिनट प्राप्त होती है। इसका मतलब यह है कि एक वर्ग मीटर क्षेत्र पर पड़ने वाले सौर विकिरणों की शक्ति 1·4 किलोवाट के लगभग है।

मानव ने कुछ वर्ष पहले परमाणु ऊर्जा का उपयोग करना सीखा है। अगली कक्षाओं में तुम इस परमाणु ऊर्जा के बारे में पढ़ोगे।

सारांश तथा निष्कर्ष

1. वस्तु को ऊष्मा देने से अथवा वस्तु पर यांत्रिक कार्य करने से वस्तु गर्म हो जाती है।

2. किसी वस्तु की आंतरिक ऊर्जा में वस्तु के अणुओं की
   (1) गतिज ऊर्जा
   और
   (2) स्थितिज ऊर्जा, सम्मिलित होती है ।
3. गर्म करने से वस्तु के अणुओं की गतिज ऊर्जा में वृद्धि होने से वस्तु की आंतरिक ऊर्जा में वृद्धि हो जाती है ।
4. ठंडा करने से वस्तु के अणुओं की गतिज ऊर्जा में कमी होने से वस्तु की आंतरिक ऊर्जा कम हो जाती है ।
5. किसी पदार्थ की 1 किलोग्राम संहति का ताप 1° से० परिवर्तित कराने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा को उस पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा कहते हैं ।
6. विशिष्ट ऊष्मा की माप $\frac{\text{कि० कै०}}{\text{कि० ग्रा० डिग्री से०}}$ अथवा

   $\frac{\text{कै०}}{\text{ग्रा० डिग्री से०}}$ में की जाती है ।
7. किसी पदार्थ की निश्चित संहति के ताप में t_1° से० से t_2° से० तक परिवर्तन के लिए आवश्यक ऊष्मा q की गणना निम्नलिखित सूत्रों की सहायता से की जाती है :
   $q = S \times m \times (t_2^\circ - t_1^\circ)$ (वस्तु के गर्म होने पर)
   $q = S \times m \times (t_1^\circ - t_2^\circ)$ (वस्तु के ठंडा होने पर)
   जहाँ S वस्तु की विशिष्ट ऊष्मा तथा m वस्तु की संहति है ।
8. 1 किलोग्राम ईंधन को पूरी तरह से जलाने पर प्राप्त ऊष्मा को ईंधन दहन की ऊष्मा कहते हैं ।
   ईंधन दहन की ऊष्मा $\frac{\text{कि० कै०}}{\text{कि० ग्रा०}}$ में अथवा $\frac{\text{कै०}}{\text{ग्रा०}}$ में व्यक्त की जाती है ।
9. किसी ईंधन की एक निश्चित मात्रा को पूरी तरह जलाने से प्राप्त होने वाली ऊष्मा (q) की गणना निम्नलिखित सूत्र से की जाती है :
   $q = Q \times m$
   जहाँ Q ईंधन दहन की ऊष्मा तथा m पूरी तरह जलाए जाने वाले ईंधन की संहति है ।
10. किसी हीटर (तापक) की ऊष्मीय दक्षता की गणना निम्नलिखित सूत्र से का जाती है :

    $$\eta = \frac{q_u}{q_t} \times 100\%$$

    जहाँ q_u = उपयोगी दहन-ऊष्मा
    और q_t = कुल दहन-ऊष्मा

11. यांत्रिक कार्य की इकाई तथा ऊष्मा की मात्रा में निम्नलिखित संबंध है :
427 कि॰ ग्रा॰ भा॰ मी॰ = 1 कि॰ कै॰
4·18 जूल = 1 कै॰

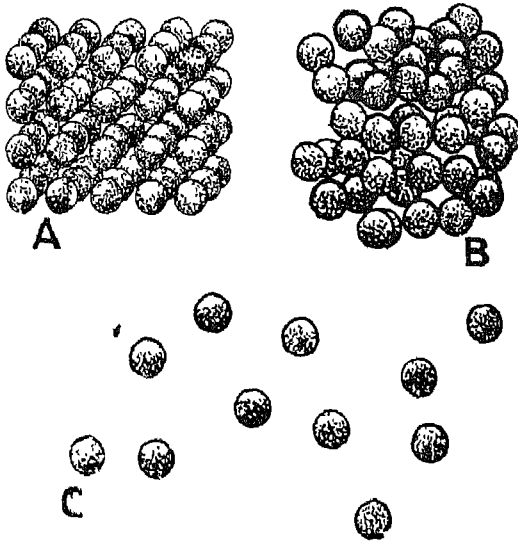
12. ऊर्जा संरक्षण और रूपांतर का नियम :
प्रकृति में होने वाली सभी घटनाओं में ऊर्जा न तो पैदा की जा सकती है और न नष्ट की जा सकती है। सभी घटनाओं में केवल इसका रूप ही परिवर्तित होता है।

पदार्थों का एक अवस्था से दूसरी अवस्था में संक्रमण

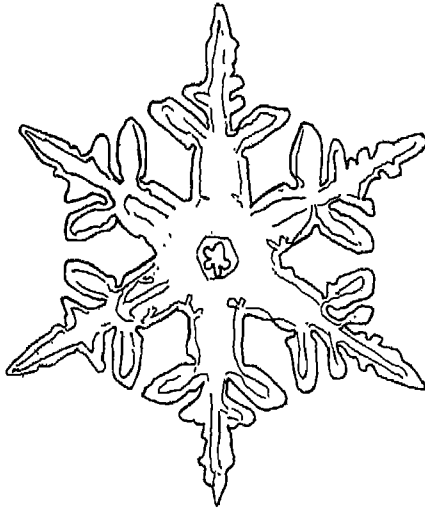
§ 64. क्रिस्टलीय और अक्रिस्टलीय पदार्थ

तुम जानते हो कि जब पानी उबाला जाता है तब वह भाप में बदलने लगता है। इसके विपरीत यदि पानी को 0° से० तक ठंडा किया जाए तो वह जम कर बर्फ़ में बदल जाता है। इस प्रकार पानी ठोस, द्रव और गैस तीनों अवस्थाओं में पाया जाता है। तुम पढ़ चुके हो कि द्रव्य की तीन अवस्थाएँ होती हैं—ठोस, द्रव और गैस।

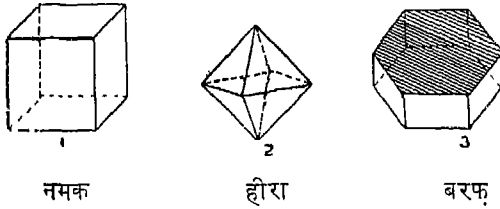
ठोस

ठोस पदार्थों के भी क्रिस्टलीय और अक्रिस्टलीय दो रूप होते हैं। यदि हिमतूलों (बर्फ़ के टुकड़ों) को किसी काले रंग के कपड़े पर रख दिया जाए और फिर उन्हें आवर्धक लेंस से देखा जाए तो देखने

चित्र 6.1 द्रव्य की तीन अवस्थाओं में अणु व्यवस्था। A-ठोस, B-द्रव तथा C-गैस

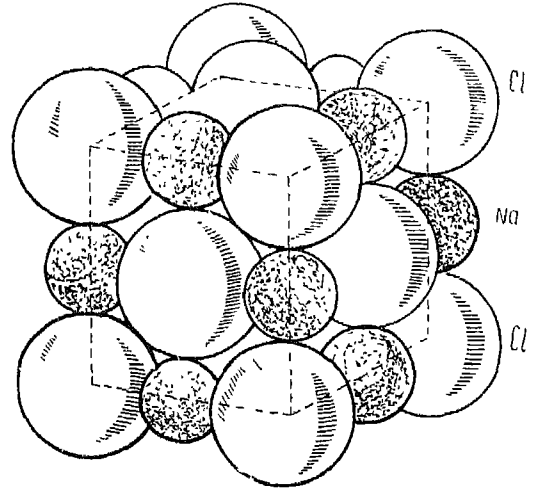
पर वे एक निश्चित आकृति के दिखाई पड़ते हैं। तुम जानते हो कि ठोसों के अंदर परमाणु अपनी मध्यमान स्थिति के इधर-उधर कंपन करते हैं। जिन स्थितियों के गिर्द कंपन करते हैं वे निश्चित ढंग से क्रमबद्ध होती हैं।

ठोसों के परमाणुओं का यह क्रमबद्ध ढंग उनकी एक विलक्षणता है। इसी गुण के कारण ठोस, द्रवों से अलग, पहचाने जाते हैं। दैनिक जीवन में काम आने वाली सभी धातुएँ, जिनका मशीनों तथा अन्य काम में आने वाली वस्तुओं के बनाने में उपयोग होता है, विभिन्न क्रिस्टलीय पदार्थों की बनी होती हैं। यदि तुम उन्हें केवल आँख से देखो तो तुम उन्हें क्रिस्टलीय पदार्थ नहीं मानोगे। परंतु सभी धातुएँ और अधिकतर खनिज पदार्थ क्रिस्टलीय पदार्थ होते है। धातुओं के टूटे हुए टुकड़ों को यदि सूक्ष्मदर्शी (माइक्रोस्कोप) से देखा जाए तो उनकी क्रिस्टलीय संरचना स्पष्ट रूप से दिखाई पड़ती है। क्रिस्टलीय पदार्थों के क्रिस्टल एकाएक ही बड़े आकार में नहीं बनते परंतु धीरे-धीरे बड़े आकार में होते जाते हैं। नम हवा में सीधे बने बर्फ़ के हिमतूलों की आकृति चित्र 6.2 में दिखाई गई है। यदि वस्तु के परमाणु किसी विशेष क्रमबद्ध ढंग में व्यवस्थित हों तथा उनकी एक ही क्रमबद्ध व्यवस्था हो तो वह वस्तु क्रिस्टलीय वस्तु कहलाती है। क्रिस्टलों के प्रायोगिक और सैद्धांतिक अध्ययन से पता चलता है कि विभिन्न प्रकार के क्रिस्टलीय पदार्थों के

चित्र 6.2 हिमतूल के क्रिस्टल ।

कुछ ठोस पदार्थ अक्रिस्टलीय भी होते है। जैसे काँच, विभिन्न प्रकार के राल, मोम आदि। अक्रिस्टलीय पदार्थ क्रिस्टलीय पदार्थो के ठीक विपरीत होते हैं । इन पदार्थों की संरचना में परमाणु किसी क्रमबद्ध ढग में व्यवस्थित नहीं होते है। अक्रिस्टलीय पदार्थ क्रिस्टलीय पदार्थों से अलग प्रकार के होते हैं इसलिए उनके गुण भी एक-दूसरे से अलग होते हैं ।

क्रिस्टलों की आकृति अलग-अलग होती है। उदाहरणार्थ खाने का नमक, हीरा, बर्फ़ आदि के

चित्र 6.3 कुछ क्रिस्टलीय पदार्थो की बाह्य रचना ।

चित्र 6.4 नमक का क्रिस्टल ।

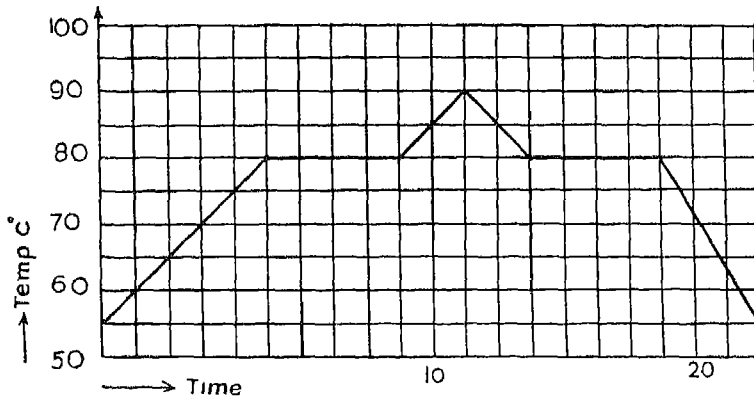
क्रिस्टलों की आकृति अलग-अलग होती है (चित्र 6.3 और 6.4) ।

§ 65. क्रिस्टलीय पदार्थों का क्रिस्टलन और गलना

किसी पदार्थ के क्रिस्टलीय अवस्था से द्रव अवस्था में बदलने की विधि को गलना कहते हैं। जैसे बर्फ़ 0° से० और 760 मि० मी० दाब पर (सामान्य वायु दाब पर) गलती है। **वह ताप, जिस पर कोई क्रिस्टलीय पदार्थ सामान्य वायु मण्डलीय दाब पर गलना शुरू करता है, उनका गलनांक कहलाता है।** विभिन्न पदार्थो के गलनांक विभिन्न होते हैं । टिन और सीसा को आसानी से गलाया जा सकता

है परन्तु लोहे या स्टील को गलाने के लिए उसे काफ़ी समय तक गर्म करना पड़ता है। प्रयोगों द्वारा यह पता चलता है कि लोहा लगभग 1500° से० पर गलता है। सामान्य दाब पर किसी पदार्थ का वह ताप, जिस पर वह पदार्थ गलना शुरू करता है, **गलनांक** कहलाता है। सामान्य दाब पर किसी पदार्थ का वह ताप, जिस पर क्रिस्टलीकरण क्रिया (क्रिस्टलन प्रक्रम) शुरू होती है, क्रिस्टलनांक कहलाता है।

प्रयोग द्वारा यह देखा गया है कि क्रिस्टलीय पदार्थों के क्रिस्टल उसी ताप पर बनने शुरू हो जाते है जिस ताप पर वह पदार्थ पिघलता है। उदाहरण के लिए, पानी के क्रिस्टल 0° से० पर बनने लगते हैं जब कि वर्फ़ भी 0° से० पर ही पिघलने लगती है। शुद्ध लोहे का गलनांक 1535° से० है और इसी ताप पर लोहे के क्रिस्टल बनने लगते हैं।

पदार्थों के गलने (पिघलने) की विधि का अध्ययन करने के लिए निम्नलिखित प्रयोग करो :

एक बर्तन में थोड़ा-सा क्रिस्टलीय पदार्थ (नेफ्थेलीन) लो। अब बर्तन को गर्म करो और उसके अंदर के ताप को थोड़े-थोड़े (निश्चित) समय के बाद ज्ञात करते रहो। इस प्रकार के एक प्रयोग का परिणाम चित्र 6.5 में दिखाया गया है। चित्र 6.5 का बायाँ आधा भाग पिघलने के प्रक्रम को दर्शाता है और दायाँ आधा भाग क्रिस्टल बनने के प्रक्रम को दर्शाता है। यदि तुम इसका ध्यानपूर्वक अध्ययन करो तो तुम यह देखोगे कि ताप की वृद्धि गलनांक (80° से०) तक होती है। 80° से० ताप पर नैफ्थेलीन पिघलना शुरू करती है। गलने के इस प्रक्रम में ताप उस समय तक स्थिर रहता है जब तक कि सब नैफ्थेलीन पिघल न जाए। गलन प्रक्रम की अवधि में, जबकि ताप निश्चित रहता है, नैफ्थेलीन आंशिक रूप से ठोस और द्रव दोनों अवस्थाओं में रहती है। इसके बाद ताप बढ़ना आरंभ होता है और 90° से० तक पहुँचता है। इसके बाद जब इसको ठंडा किया जाता है तब 80° से० पर फिर क्रिस्टल बनने शुरू हो जाते हैं और यह प्रक्रम कुल द्रव नेफ्थेलीन के क्रिस्टलीय अवस्था को धारण करने के समय तक चलता रहता है। क्रिस्टल बनने के प्रक्रम की अवधि में, जबकि ताप निश्चित रहता है, नैफ्थेलीन आंशिक रूप से क्रिस्टलीय अवस्था और द्रव अवस्था, दोनों में रहती है। इस अवस्था का ताप क्रिस्टल प्रक्रम के समाप्त होने के बाद ही गिरता है।

चित्र 6.5 नैफ्थेलीन के पिघलने और क्रिस्टलीकरण का ग्राफ।

इसी प्रकार के प्रयोग नैफ्थेलीन के स्थान

पर अन्य पदार्थों को लेकर भी करो ।

उपर्युक्त प्रयोग से यह फल निकलता है कि किसी पदार्थ का गलनांक और क्रिस्टलनांक एक ही होता है परंतु यह भिन्न-भिन्न पदार्थों के लिए भिन्न-भिन्न होता है। पिघलने और क्रिस्टल बनने के प्रक्रमों में ताप स्थिर रहता है। संक्षेप में—

1. क्रिस्टलीय पदार्थ का गलनांक और क्रिस्टलनांक एक ही होता है। यह निश्चित ताप वस्तु विशेष की एक विशेषता होती है।
2. विभिन्न क्रिस्टलीय पदार्थों के गलनांक अथवा क्रिस्टलनांक अलग-अलग होते हैं।
3. पिघलने और क्रिस्टल बनने के प्रक्रमों में क्रिस्टलीय पदार्थ का ताप बदलता नहीं है।

कुछ पदार्थों के गलनांक (सामान्य दाब पर डिग्री सेलिसयस में)

हाइड्रोजन	—259	सीसा	327
ऑक्सीजन	—219	जस्त (जिंक)	419
नाइट्रोजन	—210	ऐल्युमिनियम	660
ऐल्कोहल	—114	सोना	1063
पारा	— 39	ताँबा	1083
बर्फ़	0	प्लैटीनम	1773
टिन	232	टंगस्टन	3370

विभिन्न धातुओं की ढलाई (कास्टिंग), पिघली हुई धातु को विभिन्न प्रकार के साँचों में डालकर तथा ठंडा करके की जाती है। ढली हुई धातु का उपयोग व्यावहारिक जीवन की आवश्यक वस्तुएँ बनाने में किया जाता है। इसी सिद्धांत पर अब पत्थरों की ढलाई की जाती है। पिघले हुए पत्थर का उपयोग नल की नलियों, खराद जैसी मशीनों की आधारपट्टिका आदि के बनाने में किया जाता है। तुम जानते हो कि क्रिस्टलों में अणु और परमाणु एक क्रम-बद्ध ढंग में होते हैं। एक पदार्थ के क्रिस्टलों का अपना एक निश्चित रूप होता है और ठोसों में यह क्रिस्टल बहुत अधिक पास-पास स्थित होते हैं। द्रवों में अणु स्वतंत्रतापूर्वक गतिशील होते हैं परंतु तल पर अंदर की ओर बल लगने के कारण द्रव के तल से अलग होना इनके लिए कठिन होता है।

जब एक ठोस को गर्म किया जाता है तब उसकी आंतरिक ऊर्जा बढ़ जाती है जिससे क्रिस्टलों में परमाणुओं का क्रमबद्ध ढंग नष्ट हो जाता है। जब एक पदार्थ पिघलकर द्रव अवस्था ग्रहण करता है तब परमाणुओं का क्रमबद्ध ढंग नष्ट हो जाता है। तुम जानते हो कि बड़े आकार के क्रिस्टल एकाएक नहीं बल्कि धीरे-धीरे बनते हैं। इसका मतलब यह है कि द्रव का ताप जब क्रिस्टलनांक (क्रिस्टलीकरण क्रिया का ताप) हो जाता है तब पहले छोटे-छोटे क्रिस्टल बनते हैं और फिर इनके आकार में धीरे-धीरे वृद्धि होती रहती है तथा क्रिस्टलों का आकार कुल द्रव के क्रिस्टल बनने तक बढ़ता रहता है।

अक्रिस्टलीय पदार्थों का कोई क्रिस्टलनांक नहीं होता। अक्रिस्टलीय पदार्थों का न कोई निश्चित गलनांक ही होता है और न क्रिस्टलनांक। जब एक अक्रिस्टलीय पदार्थ को गर्म किया जाता है तब वह कोमल हो जाता है तथा अंत में द्रव अवस्था ग्रहण कर लेता है। जब किसी अक्रिस्टलीय द्रव पदार्थ को ठोस अवस्था में लाने के लिए ठंडा किया जाता है तब वह धीरे-धीरे ठोस अवस्था को ग्रहण करता है परंतु क्रिस्टल नहीं बनते। अक्रिस्टलीय पदार्थों की भी ठोस अवस्था में अणुओं की व्यवस्था द्रवों की तरह क्रमबद्ध नहीं होती है। ठोस अवस्था प्राप्त करने की क्रिया में केवल यही होता है कि पदार्थ गाढ़ा (मोटा) होता चला जाता है जिसमें द्रवों की तरह अणु गतिशील नहीं होते। यह प्रक्रम ठोस बनने की क्रिया तक चलता रहता है। अतः एक प्रकार से अक्रिस्टलीय ठोस पदार्थ गाढ़े द्रव के समान होते हैं।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. बताओ किसी ठंडे देश में यदि तुम मैदान का ताप नापना चाहो तो ऐल्कोहल या पारे के तापमापियों में से कौन-से तापमापी का उपयोग करोगे।
2. टिन का गलनांक 232° से० है। यदि टिन को पिघले हुए सीसे में मिला दिया जाए तो क्या यह पिघलने लगेगा ?
3. बताओ क्या ऐल्युमिनियम के बर्तन में जस्ते को पिघलाया जा सकता है।

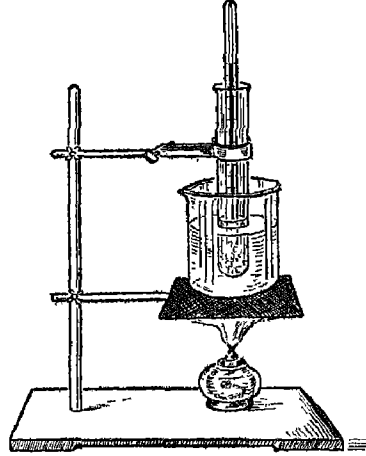
§ 66. प्रयोगात्मक कार्य (नं० 7)

नैफ्थेलीन को गर्म करना और उसके पिघलने की जाँच

उपकरण तथा सामग्री :

एक चौड़ी परख नली, तापमापी, नैफ्थेलीन, बीकर, स्प्रिट लैम्प।

विधि :

1. परख नली में नैफ्थेलीन और तापमापी रखो और इनको पानी से भरे हुए बीकर में रखो। अब बीकर को मंद लौ पर स्प्रिट-लैम्प से चित्र 6.6 की तरह से गर्म करो।

चित्र 6.6 नैफ्थेलीन के गलनांक को ज्ञात करने के लिए उपकरण।

2. जब नैफ्थेलीन का ताप 55° से० पहुँच जाए तब नैफ्थेलीन का ताप प्रत्येक मिनट के बाद लो और प्रेक्षणों को अपनी प्रेक्षण पुस्तिका में लिखो। नैफ्थेलीन को 90° से० तक गर्म करो। इसके बाद परख नली को गर्म पानी में से निकालो। परख नली को ठंडा होने दो। ठंडा होते समय भी नैफ्थेलीन का ताप प्रत्येक मिनट के बाद ज्ञात करो और ताप को तब तक ज्ञात करते रहो जब तक कि वह 60° से० तक न आ जाए।
3. नैफ्थेलीन के ताप और समय से संबंधित एक ग्राफ़ खींचो (चित्र 6.5)।

4. अब ग्राफ़ से गलनांक और क्रिस्टलनांक का पता लगाओ और उसकी तुलना करो। इस तुलना से तुम क्या निष्कर्ष निकालते हो ?
5. जिन तापों पर नैफ्थेलीन पिघलती है और क्रिस्टल बनने शुरू होते हैं उनकी जाँच करो।
6 जिन स्थितियों पर नैफ्थेलीन का ताप बदलता है, उनके नाम लिखो और ग्राफ़ पर चिह्न लगाओ।
7. ग्राफ़ पर (चित्र 6.5) नैफ्थेलीन की उन अवस्थाओं को बताओ जिनमें यह पिघलने और क्रिस्टल बनने की स्थिति में थी।

§ 67. गलन-ऊष्मा

बड़े आकार का एक बीकर लो। इसमें बर्फ़ के छोटे-छोटे टुकड़े डालो और तापमापी की सहायता से उनका ताप पढ़ो। तापमापी में ताप 0° से० होगा। इसके बाद इस बीकर को स्प्रिट लैम्प से गर्म करो तथा बीकर के अंदर संपूर्ण द्रव के ताप को समान करने के लिए मथनी से चलाते रहो। गर्म करने से बर्फ़ पिघलने लगेगी और पिघलने के प्रक्रम में ताप तब तक स्थिर रहेगा जब तक संपूर्ण बर्फ़ पिघल नहीं जाती।

इसी तरह यदि पानी को लगातार ठंडा किया जाए तो इसका ताप धीरे-धीरे तब तक कम होता जाएगा जब तक कि पानी जम कर बर्फ़ न बनने लगे। इसके बाद भी यदि पानी को ठंडा करने की प्रक्रिया जारी रखी जाए तो पानी के ताप में कमी नहीं आती बल्कि स्थिरता आ जाती है। यह स्थिर ताप तब तक अपरिवर्तित रहता है जब तक कि संपूर्ण पानी जम कर बर्फ़ न बन जाए।

नैफ्थेलीन को लेकर किए गए प्रयोग में तुमने देखा होगा कि गर्म करने पर यह भी पिघलने लगती है। पिघलने के प्रक्रम में इसका ताप भी स्थिर रहता है।

नैफ्थेलीन की संपूर्ण मात्रा के पिघलने के बाद जब स्प्रिट-लैम्प हटा लिया जाता है तब यह जमना आरंभ कर देती है। इस जमने की प्रक्रिया में भी ताप पुन: स्थिर रहता है।

यहाँ यह विचारणीय है कि क्रिस्टलीय वस्तु को गलाने के लिए हम वस्तु को कुछ ऊष्मा देते हैं। गलने के प्रक्रम में क्योंकि ताप में वृद्धि नहीं होती है इसलिए इससे यह प्रतीत होता है कि दी गई ऊष्मा से वस्तु के अणुओं की गतिज ऊर्जा में वृद्धि नहीं होती। तुम यह भी जानते हो कि वस्तु के अणुओं की आंतरिक ऊर्जा, इसके अणुओं की गतिज ऊर्जा और स्थितिज ऊर्जा के योग के बराबर होती है।

इसका मतलब यह है कि गलने के प्रक्रम में दी गई ऊष्मा का उपयोग वस्तु के अणुओं की स्थितिज ऊर्जा के बढ़ाने में होता है।

बर्फ़ और नैफ्थेलीन के साथ किए गए प्रयोगों में उनके पिघलने की क्रिया प्रारंभ होने के बाद भी स्प्रिट लैम्प को नहीं हटाया गया था। अत: उनके द्वारा प्राप्त ऊष्मा के ताप पर किसी प्रकार का प्रभाव न पड़ने का यह अर्थ हुआ कि ऊष्मा का उपयोग उनके क्रमबद्ध आकार का विनाश करने में तब तक होता रहा जब तक ठोस अवस्था से द्रव अवस्था में उनका परिवर्तन पूर्ण रूप से न हो गया।

गलनांक पर किसी वस्तु की एक किलोग्राम मात्रा को ठोस अवस्था से द्रव अवस्था में परि-

र्वातत करने के लिए आवश्यक ऊष्मा, उस वस्तु की गलन ऊष्मा कहलाती है ।

एक ग्राम बर्फ़ लेकर अगर प्रयोग करें तो हम देखेंगे कि 0° से० पर एक ग्राम बर्फ़ को एक ग्राम पानी में परिर्वातत करने के लिए 80 कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होती है ।

अत: एक किलोग्राम बर्फ़ को 0° से० पर एक किलोग्राम पानी में बदलने के लिए 80 किलो कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होगी ।

यह पहले ही बताया जा चुका है कि गर्म करने से किसी वस्तु की आंतरिक ऊर्जा बढ़ती है । तुम्हें यह भी मालूम है कि एक ग्राम बर्फ़ को 0° से० पर एक ग्राम पानी में परिर्वातत करने के लिए 80 कैलॉरी ऊष्मा की ज़रूरत होती है । अत: इससे मालूम होता है कि एक ग्राम पानी की आंतरिक ऊर्जा, एक ग्राम बर्फ़ से, अधिक है ।

किसी पदार्थ (ठोस) को गलाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की गणना के लिए दो बातों का जानना आवश्यक है :

1. ठोस की संहति

   और

2. ठोस की गलन ऊष्मा

इन दोनों राशियों का गुणनफल ठोस को गलाने के लिए आवश्यक ऊष्मा होती है । यदि गलन-ऊष्मा को L से, ठोस की संहति को m से और ठोस को पूर्ण रूपेण गलाने के लिए आवश्यक ऊष्मा को q से प्रदर्शित करें तो

$$q = L \times m$$

कुछ वस्तुओं की गलन-ऊष्मा नीचे दी गई है :

(कै०/ग्रा० या कि० कै०/कि० ग्रा० में गलन-ऊष्मा)

बर्फ़	80
लोहा	66
ताँबा	42
सीसा	6.3
पारा	2.8

ऊपर के प्रयोग से यह स्पष्ट है कि ताप मे परिवर्तन के बिना जब कोई पदार्थ ठोस अवस्था से द्रव अवस्था में परिर्वातत होती है तब उसकी आंतरिक ऊर्जा में वृद्धि होती है । नैफ्थेलीन के प्रयोग से तुम यह जानते हो कि जब द्रव नैफ्थेलीन (क्रिस्टलनांक से ऊँचे ताप वाली) को ठंडा किया जाता है तब इसका ताप कम होता जाता है । कुछ देर ऐसा करने से जब ताप का मान क्रिस्टल बनने के ताप के बराबर हो जाता है तब द्रव धीरे-धीरे जमने लगता है । क्रिस्टल बनने की क्रिया में द्रव नैफ्थेलीन की आंतरिक ऊर्जा मुक्त होती है परन्तु ताप स्थिर रहता है । तुम जानते हो कि गर्म करने से आंतरिक ऊर्जा में वृद्धि होती है और विपरीत क्रिया (ठंडा) करने से आंतरिक ऊर्जा में कमी । आंतरिक ऊर्जा में इस कमी का कारण उसके अणुओं की स्थितिज ऊर्जा में कमी के कारण है । द्रव के अणुओं की गतिज ऊर्जा में कमी नहीं होती, इसलिए इस प्रक्रम में ताप स्थिर रहता है तथा ताप की कमी तापमापी से व्यक्त नहीं होती । जब क्रिस्टल बनने की क्रिया पूरी हो जाती है तब ताप का कम होना प्रारम्भ होता है । **क्रिस्टलीकरण की क्रिया में वस्तु द्वारा उतनी ही ऊष्मा मुक्त होती है जितनी गलने की क्रिया में आवश्यक होती है ।** अर्थात् किसी वस्तु द्वारा गलने की क्रिया में ली गई तथा जमने की क्रिया में दी गई ऊष्माएँ आपस में बराबर होती हैं ।

ठंडे देशों में जब बर्फ़ पिघलती है तब बड़ी-बड़ी झीलों तथा नदियों के आसपास के क्षेत्रों का ताप अचानक कम हो जाता है क्योंकि बर्फ़ के पिघलने के लिए आवश्यक ऊष्मा का शोषण

वातावरण से होता है, जिससे वातावरण का ताप अचानक कम हो जाता है। इसी प्रकार जाड़े के दिनों में पानी के जमने से ऊष्मा मुक्त होती है जिसके कारण आसपास के क्षेत्रों का ताप अधिक हो जाता है, जिससे ऐसे क्षेत्रों में अधिक घने हिम करण नहीं बन पाते।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. एक ग्राम वस्तु को ठोस अवस्था से द्रव अवस्था मे गलनांक पर बदलने में आवश्यक ऊष्मा देने से ताप में परिवर्तन नहीं होता है। क्यों ?
2. 0° से० ताप पर 5 किलोग्राम बर्फ़ के पिघलने के लिए आवश्यक ऊष्मा की गणना करो।
3. एक ग्राम सीसे का टुकड़ा लिया गया। इसका प्रारंभिक ताप 27° से० है। अगर सीसे की गलन-ऊष्मा 6 कै०/ग्रा तथा गलनांक 327° से० हो तो उस टुकड़े को पिघलाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की गणना करो।
4. अगर पिघलते हुए बर्फ़ के टुकड़े को एक ऐसे स्थान में लाया जाए जिसका ताप 0° से० हो तो बताओ बर्फ़ पिघलेगी या नहीं।
5. वस्तु को गलाने के लिए आवश्यक ऊष्मा तथा क्रिस्टल बनने की क्रिया में मुक्त ऊष्मा, दोनों बराबर होती है—इस कथन की व्याख्या करो।
6. एक-से दो टिन के बर्तन लो। एक में 200 ग्राम बर्फ़ और दूसरे में 200 ग्राम पानी डालो। दोनों को तब तक गर्म करो जब तक कि पानी उबलने न लगे। तुम्हारे विचार से दोनों के लिए समान समय चाहिए या नहीं ?
7. 0° से० के 20 ग्राम बर्फ़ को किसी शीशे के बर्तन में रखे 30° से० के 90 ग्राम पानी में डाला जाता है और मिश्रण को कुछ समय तक हिलाने के बाद पानी का ताप 10° से० हो जाता है। बर्फ़ की **गलन-ऊष्मा** का मान बताओ।

§ 68. मिश्र धातुएँ और उनकी उपयोगिता

तुम जानते हो कि क्रिस्टलीय पदार्थ का गलनांक एक निश्चित ताप होता है। इस ताप पर पदार्थ का क्रिस्टल द्रव अवस्था ग्रहण करता है।

यदि पदार्थ शुद्ध होता है तो वह एक निश्चित ताप पर ही गलता है परंतु यदि पदार्थ में किसी प्रकार की मिलावट होती है तो उसका गलनांक कम हो जाता है।

अतः किसी पदार्थ के गलनांक को ज्ञात करके उस पदार्थ की शुद्धता की परीक्षा की जा सकती है।

कभी-कभी उपयोगिता के दृष्टिकोण से दो या दो से अधिक धातुओं को विभिन्न अनुपातों में मिलाना आवश्यक हो जाता है। इस प्रकार मिली हुई धातु को **मिश्र धातु** कहते हैं। रसायन-विज्ञान

में तुमने कार्बन तत्व के बारे में पढ़ा होगा। लकड़ी का कोयला एवं पत्थर का कोयला, कार्बन के ही अशुद्ध रूप हैं। हीरा, जो कि एक मूल्यवान् पत्थर है, कार्बन का ही एक रूप है। हीरा बहुत कठोर है इसलिए काटने वाले यंत्रों के बनाने में इसका उपयोग किया जाता है। प्रयोगशाला में कार्बन को अधिक दाब पर गर्म करके हीरा बनाया जाता है।

बहुत अधिक ताप तक गर्म किए गए कार्बन को लोहे में मिलाकर स्टील (इस्पात) बनाया जाता है। इस प्रकार से लोहे की कठोरता बढ़ जाती है। फलतः इसका उपयोग चाक़ू, कैंची आदि औज़ारों के बनाने में किया जाता है।

तुम्हें यह जानकर आश्चर्य होगा कि इस्पात, जो कि आजकल एक सामान्य धातु है, अठारहवीं शताब्दी के मध्य तक बहुत थोड़ी मात्रा में ही बनाया जाता था।

आजकल मिश्र धातुओं का व्यावहारिक कार्यों में अत्यधिक उपयोग किया जाता है। विशेष रूप से इंजीनियरिंग में इनकी उपयोगिता अधिक है।

प्रायः घरों में काम आने वाली चीज़ें जैसे चाक़ू, चम्मच, पाकशाला में काम आने वाले बर्तन आदि तथा शल्य चिकित्सा में प्रयोग किए जाने वाले औज़ार एक विशेष धातु के बने होते हैं, जिसे स्टेनलेस स्टील कहते हैं।

विभिन्न धातुओं, जैसे क्रोमियम, निकिल आदि को एक निश्चित मात्रा में लोहे में मिला करके स्टेनलेस स्टील बनाया जाता है। यह लोहे से कठोर होता है। इसमें जंग नहीं लगता है तथा अम्लों का भी इस पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता।

स्टील की कई किस्में होती हैं। जैसे एक्स्ट्रा हार्ड स्टील, स्टेनलेस स्टील, हीट रेज़िसटेंट स्टील आदि।

डूरालूमिन नामक मिश्र धातु का उपयोग वायुयान, जलयान और मोटर आदि के बनाने में किया जाता है। यह धातु बहुत हल्की होती है तथा हल्की होने के साथ-साथ मज़बूत और काफ़ी समय तक चलने वाली होती है।

ऐल्युमिनियम में ताँबा, मैंगनीज़ और मैग्ने-शियम की थोड़ी सी मात्राओं के मिलाने से यह मिश्र धातु बनाई जाती है। डूरालूमिन मिश्र धातु का गलनांक 650° से० है।

अभी तक तुमने कठोर, मज़बूत और काफ़ी समय तक चलने वाली मिश्र धातुओं के विषय में ही पढ़ा है। कभी-कभी ऐसी मिश्र धातुओं की भी आवश्यकता होती है जो बहुत कोमल हों तथा कम ताप पर पिघलने वाली हों। बिस्मथ, टिन तथा सीसे को मिलाने से एक कोमल मिश्र धातु बनती है। वाष्पित्र (बॉयलर) में सुरक्षा डाट बनाने के लिए इस मिश्र धातु का उपयोग किया जाता है। वाष्पित्र में जब पानी का तल कम हो जाता है उस समय सुरक्षा डाट गर्म होकर पिघल जाती है। इस प्रकार वाष्पित्र में विस्फोट का होना रुक जाता है। विद्युत परिपथों में अधिक धारा के प्रवाहित होने से जब अधिक ऊष्मा उत्पन्न हो जाती है तब मूल्यवान् विद्युत उपकरणों को हानि से बचाने के लिए परिपथों में गलनीय तारों (फ़्यूज वायर्स) का उपयोग किया जाता है। गलनीय तार टिन और सीसे से मिली हुई धातु से बनाए जाते हैं। इस मिश्र धातु का गलनांक बहुत कम होता है। इस प्रकार के तारों के विषय में विस्तृत अध्ययन तुम अगली कक्षाओं में करोगे।

प्रायः चौके में काम आने वाले पीतल के बर्तनों पर क़लई होती है। क्या तुमने क़लई करने की क्रिया विधि देखी है? क़लई करने के लिए एक विशेष मिश्र धातु काम में लाई जाती है जिसे राँगा कहते हैं। राँगे में सीसा और टिन धातु मिले होते हैं।

विभिन्न प्रकार की मशीनों में विशेष रूप से

मोटरकार तथा ट्रैक्टरों के इंजन के धुरो के ऊपर एक कोमल मिश्र धातु की परत चढ़ाई जाती है क्योंकि स्नेहक द्रव की कमी होने से अत्यधिक ऊष्मा उत्पन्न हो जाती है जिससे धुरों के ऊपर की परत अथवा प्रभागों के वही भाग, जो इस मिश्र धातु के बने होते है, पिघल जाते हैं। इस प्रकार धुरों को अथवा मशीनों के दूसरे मूल्यवान भागों को कोई नुकसान नहीं होता।

§ 69. वाष्पन

अब तक तुम पदार्थों के क्रिस्टलीय अवस्था से द्रव अवस्था के परिवर्तन एवं द्रव अवस्था से क्रिस्टलीय अवस्था के परिवर्तन के बारे में पढ़ चुके हो। एक अन्य प्रक्रम में द्रवीय अवस्था का गैसीय अवस्था में परिवर्तन होता है। द्रव अवस्था से गैसीय अवस्था ग्रहण करने के प्रक्रम को वाष्पीकरण (भाप बनने की क्रिया) कहते हैं। यह दो प्रकार से होता है :

1. वाष्पन
2. क्वथन

पहले वाष्पन प्रक्रम के बारे में अध्ययन करेंगे।

वाष्पन प्रक्रम हर समय (सब तापों पर) होता रहता है तथा यह द्रव की सतह पर ही होता है। क्वथन प्रक्रम की तुलना में वाष्पन प्रक्रम एक मंद प्रक्रम है।

अलग-अलग क्षेत्रफल के दो बर्तन लो। इन बर्तनों में एक ही ताप का द्रव भरो और कुछ समय के लिए यों ही छोड़ दो। कुछ समय के बाद देखने पर तुम्हें अधिक क्षेत्रफल वाले बर्तन में द्रव की संहति, कम क्षेत्रफल वाले बर्तन में द्रव की सहति से कम मिलेगी।

इस प्रयोग से यह फल निकलता है कि वाष्पन प्रभाव्य सतह के क्षेत्रफल पर आधारित है। यदि प्रभाव्य क्षेत्रफल अधिक है तो वाष्पन अधिक होगा और यदि क्षेत्रफल कम है तो वाष्पन कम होगा। यही तथ्य आगे दिए गए उदाहरणों से और भी भली-भाँति स्पष्ट हो जाता है।

भीगे हुए कपड़ो को जब फैलाकर सुखाते हैं तब कपड़े शीघ्र सूख जाते हैं अन्यथा बिना फैलाए बहुत देर में सूखते है।

गर्म चाय, कप की अपेक्षा, प्लेट मे जल्दी ठंडी हो जाती है।

जब स्याही की बूँद स्याही-सोख्ते पर पड़ जाती है तब वह फैल जाती है और जल्दी सूख जाती है परंतु सादे काग़ज़ पर पड़ने से वह फैलती नहीं और सूखती नही है।

एक-से दो बर्तन लो। दोनों मे एक ही द्रव लो परंतु एक बर्तन में द्रव का ताप अधिक हो। इन दोनों बर्तनों को कुछ समय के लिए यों ही छोड़ दो। कुछ समय के बाद देखने पर तुम्हें अधिक ताप वाले द्रव की संहति, दूसरे बर्तन के द्रव की सहति से कम मिलेगी।

इस प्रयोग से यह स्पष्ट हो जाता है कि वाष्पन की दर वाष्पित होने वाले द्रव के ताप पर निर्भर होती है। यदि वाष्पित होने वाले द्रव का ताप अधिक होता है तो वाष्पन की दर अधिक होती है और यदि ताप कम होता है तो वाष्पन की दर कम होती है। उदाहरण के लिए गर्मियों में जाड़ों की अपेक्षा सड़क का पानी जल्दी सूख जाता है। वातावरण का ताप जब अधिक होता है तब भीगे कपड़े जल्दी सूख जाते हैं और भीगा हुआ शरीर भी शीघ्र सूख जाता है।

एक जैसे दो बर्तन लो। दोनों में समान ताप के और समान संहति के अलग-अलग द्रव लो। इन दोनों को कुछ समय के लिए यों ही खुला छोड़ दो। कुछ समय पश्चात् तुम्हें एक बर्तन में द्रव की संहति कम मिलेगी।

उदाहरण के लिए यदि एक बर्तन में पानी और दूसरे में समान ताप और समान संहति का ईथर लें तो पानी की अपेक्षा ईथर अधिक वाष्पित होगा।

जब तुम किसी पेट्रोल पंप के पास से गुज़रते हो तब तुम्हें पेट्रोल की गंध मालूम पड़ती है। ड्राई क्लीनिंग कराए हुए कपड़ों को जब कुछ समय के लिए एक बंद कमरे में रख दिया जाता है तब कुछ समय के बाद उस कमरे में पेट्रोल की गंध का आभास होता है। अतः स्पष्ट है कि वाष्पन द्रव की प्रकृति पर निर्भर करता है।

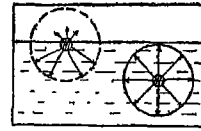
एक जैसे दो बर्तन लो। दोनों में समान संहति और समान ताप का पानी लो। एक बर्तन को बेलजार से ढक दो। कुछ समय पश्चात् तुम्हें खुले हुए बर्तन में पानी की संहति कम मिलेगी।

अतः वाष्पन प्रक्रम इस बात पर भी निर्भर करता है कि वाष्पन बंद बर्तन में होता है अथवा खुले बर्तन में।

§ 70. वाष्पन और द्रवण प्रक्रमों की व्याख्या

तुम जानते हो कि द्रव अवस्था से धीरे-धीरे गैसीय अवस्था के ग्रहण करने के प्रक्रम को वाष्पन कहते हैं। वाष्पन कैसे होता है, इसकी व्याख्या निम्नलिखित है।

वाष्पन में अणु द्रव की सतह से बाहर जाते है तथा इनसे वाष्प बनती है। तुम जानते हो कि द्रव के सब अणु एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं। इनमें आकर्षण बल होता है। अतः द्रव अवस्था से गैसीय अवस्था धारण करने के लिए अणु को इस आकर्षण बल के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है। जब अणुओं के बीच का आकर्षण बल कम हो तब ही ये अणु द्रव अवस्था से गैसीय अवस्था में जा सकते हैं।

द्रव के अंदर के अणु द्रव से बाहर नहीं जा सकते है। चित्र 6.7 में द्रव के अंदर एक अणु दिखाया गया है। द्रव के अणु पर दूसरे अणुओं द्वारा आकर्षण बल किस प्रकार से लगता है, यह चित्र से स्पष्ट हो जाता है। एक अणु के चारों ओर अणु होते हैं जो इसको अपनी ओर आकर्षित

चित्र 6.7 द्रव की सतह से पानी के वाष्पन की क्रिया-विधि।

करते हैं। इस एक अणु पर सब ओर से समान आकर्षण बल लगता है। इस प्रकार द्रव के अंदर के अणु तो बाहर जा नहीं सकते, केवल वे ही बाहर जा सकते हैं जो द्रव की सतह पर स्थित होते हैं। सतह के अणुओं को द्रव के अंदर के अणु अपनी ओर आकर्षण बल से आकृष्ट करते हैं, इसलिए वाष्प अवस्था में जाने के लिए अणु को इस आकर्षण बल के विपरीत कार्य करना पड़ता है। अतः सतह पर स्थित सब अणु तो बाहर नहीं जा सकते। अंदर के अणुओं द्वारा सतह पर के अणुओं पर लगे हुए आकर्षण बल के प्रभाव को नष्ट करके बाहर जाने के लिए इन अणुओं में पर्याप्त गतिज ऊर्जा होनी चाहिए। प्रश्न यह है कि

सतह पर अणुओं को बाहर जाने के लिए आवश्यक गतिज ऊर्जा कैसे प्राप्त हो सकती है ।

तुम जानते हो कि द्रव के अणु सदैव गतिशील होते हैं तथा ये आपस में बारंबार टकराते हैं। कभी-कभी टक्कर में इनकी गति बढ़ जाती है, और फलस्वरूप इनकी गतिज ऊर्जा बढ़ जाती है । इस प्रकार अणु को उस पर अंदर के अणुओं द्वारा लगे हुए आकर्षण बल के विपरीत जाने के लिए आवश्यक गतिज ऊर्जा मिल जाती है । इस प्रकार जब अणु को आवश्यक गतिज ऊर्जा प्राप्त हो जाती है तब यह द्रव की सतह से बाहर चला जाता है और वाष्प में बदल जाता है ।

उपर्युक्त विवेचन से यह फल निकलता है कि वाष्पन प्रक्रम के लिए अणुओं में पर्याप्त गतिज ऊर्जा होनी चाहिए । वाष्पन प्रक्रम में वाष्पित द्रव की आंतरिक गतिज ऊर्जा कम हो जाती है । फलस्वरूप वाष्पित होने वाले द्रव का ताप कम हो जाता है ।

द्रवण प्रक्रम, वाष्पन प्रक्रम का विपरीत प्रक्रम है । द्रवण प्रक्रम में जब वाष्प द्रव अवस्था में आता है तब ऊर्जा मुक्त होती है ।

यदि तुम्हारे पास किसी साधारण ताप पर एक ग्राम पानी का वाष्प है तो इसकी आंतरिक ऊर्जा उसी ताप के एक ग्राम पानी की आंतरिक ऊर्जा से उतनी अधिक होगी जितनी कि वाष्पन के लिए ऊर्जा आवश्यक थी । अतः एक ग्राम पानी का वाष्प जब पानी में बदलता है तब आंतरिक ऊर्जा मुक्त होती है । निम्नलिखित कुछ उदाहरण हैं जिनसे 'वाष्पन द्वारा ताप में कमी' स्पष्ट होती है ।

(1) स्नान के बाद सरोवर से बाहर निकलने पर सर्दी लगने लगती है । सर्दी लगने का कारण वाष्पन है ।

(2) यदि तुम अपने हाथ पर शीघ्र वाष्पित होने वाला कोई द्रव, जैसे ईथर लो तो तुम्हें अपना हाथ शीतल लगने लगता है ।

(3) एक बीकर में पानी लो । इसमें एक तापमापी रखो । पानी की कुछ भाप को इस द्रव में प्रवाहित करो । भाप प्रवाहित होने पर तुम देखोगे कि पानी का ताप बढ़ जाता है । ताप वृद्धि का कारण भाप द्वारा ऊर्जा की मुक्ति है ।

वाष्पन की दर द्रव के प्रभाव्य सतह के क्षेत्रफल पर निर्भर करती है । इसका कारण अब तुम्हारी समझ में आसानी से आ जाएगा । चूँकि अधिक क्षेत्रफल होने से सतह पर स्थित अणुओं की संख्या अधिक होती है, इसलिए द्रव की सतह से अधिक संख्या में अणु वाष्प रूप में बदल जाते हैं ।

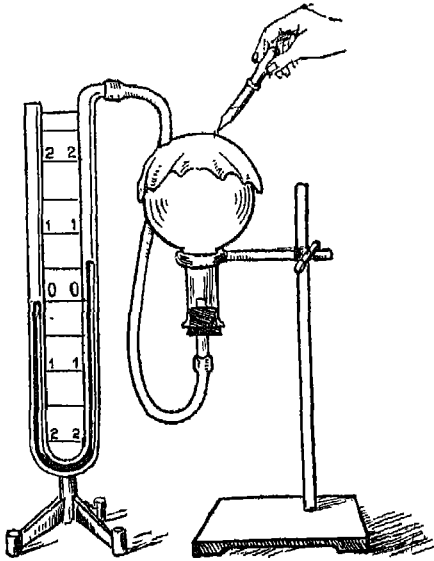
तुम जानते हो कि वाष्पन की दर वाष्पित होने वाले द्रव के ताप पर निर्भर करती है । इसका कारण यह है कि जब द्रव का ताप अधिक होता है तब द्रव के अणुओं की गति भी अधिक होती है । फलस्वरूप अणुओं की गतिज ऊर्जा भी अधिक होती है । इस तरह अधिकांश अणुओं की गतिज उर्जा द्रव की सतह से बाहर जाने के लिए पर्याप्त होती है । अतः अधिक अणु वाष्प अवस्था में चले जाते हैं ।

तुम जानते हो कि वाष्पन की दर द्रव की प्रकृति पर निर्भर करती है । इसका कारण यह है कि विभिन्न द्रवों के अणुओं में भी विभिन्न पारस्परिक आकर्षण बल होता है । कुछ द्रवों में यह बल कम होता है और कुछ मे अधिक । जिन द्रवों के अणुओं में आकर्षण बल कम होता है उनमें वाष्पन अधिक सुगमता से होता है ।

वाष्पन की दर वाष्पन प्रक्रम की परिस्थितियों पर भी निर्भर करती है । यदि यह प्रक्रम

बंद बर्तन में होता है तो द्रवण और वाष्पन दोनों प्रक्रम साथ-साथ होते हैं तथा स्थिति ऐसी हो जाती है कि जितने अणु द्रव की सतह से वाष्प रूप में जाते है, उतने ही अणु वाष्प रूप से द्रव रूप में बदल जाते हैं । इस स्थिति के बाद द्रव के परिमाण में कमी नहीं होती ।

अत: वाष्पन की वृद्धि के लिए यह आवश्यक है कि वाष्पन के फलस्वरूप निर्मित वाष्प को द्रव की सतह से अलग कर दिया जाए । यही कारण है कि तेज हवा में वाष्पन शीघ्र होता है । जब हवा तेज़ नहीं चलती, तब वायु विहीन वातावरण में बेचैनी का कारण यह है कि हमारे शरीर का पसीना वाष्पित नहीं हो पाता । इसलिए पसीने को वाष्पित करने के लिए पंखे का प्रयोग करते है । हवा के तेज़ होने पर वाष्पन शीघ्र होने लगता है ।

काँच की एक छोटी नली से जुड़ा हुआ एक पतले काँच का फ्लास्क लो । नली का संबंध रबर की नली से करो तथा रबर की नली के दूसरे सिरे को मैनॉमीटर की एक नली से (चित्र 6.8)

चित्र 6.8 वाष्पन के कारण द्रव ठंडा हो जाता है ।

जोड़ो । ईथर (अथवा ऐल्कोहल) से भीगा हुआ कपड़ा फ्लास्क की पेंदी पर रखो । ईथर के वाष्पित होने से कपड़ा ठंडा हो जाता है जिससे फ्लास्क के अंदर की हवा भी ठंडी हो जाती है और इसके आयतन में कमी हो जाती है । फलस्वरूप मैनॉमीटर की नली में, द्रव का तल ऊपर चढ़ जाता है ।

यदि किसी प्राणी को तेज़ बुख़ार होता है तो उसके माथे पर ओडीकोलोन अथवा लिनेन से भीगा हुआ कपड़ा रखते हैं । कपड़ा रखने से उसका ताप कम हो जाता है । जब ओडीकोलोन नहीं मिलता तब प्राय: बर्फ़ और बर्फ़ के अभाव में पानी से भीगा कपड़ा माथे पर रखते हैं । तेज़ वाष्पन के लिए पंखे से हवा भी की जाती है । इससे स्पष्ट होता है कि **वाष्पन से शीतलन** होता है ।

अभी तक तुमने द्रवों के वाष्पित होने का ही अध्ययन किया है । द्रव ही वाष्पित नहीं होते बल्कि कुछ ठोस भी वाष्पित होते हैं । उदाहरण के लिए कपूर, जो कि एक ठोस है, खुला छोड़ देने पर शीघ्र ही बिना द्रव बने वाष्पित हो जाता है ।

आयोडीन के कुछ क्रिस्टलों को एक बंद परखनली में रखकर गर्म करो । गर्म होने के बाद वाष्पित होने दो । आयोडीन के रंग के वाष्प से यह स्पष्ट हो जाता है कि ठोस कैसे सीधे वाष्प में परिणत होता है । ठोस अवस्था से सीधे ही गैसीय अवस्था को ग्रहण करने के प्रक्रम को **ऊर्ध्वपातन** कहते हैं ।

वायुमंडल में उपस्थित पानी के वाष्प के द्रवण के कारण ही घास के ऊपर सुबह ओस जमी हुई दिखाई देती है ।

वाष्पन एक अविरत प्रक्रम है । नदी, झील तथा समुद्र आदि की सतहों पर पानी अविरत रूप से वाष्पित होता रहता है । जब पानी का

वाष्प अधिक ऊँचाई पर पहुँच जाता है तब यह शीतल होकर पानी की छोटी-छोटी बूँदों के रूप में द्रवित होता है। धूल के कणों पर द्रवित ये पानी की छोटी-छोटी बूँदें ही बादल होती हैं।

प्रश्न तथा अभ्यास

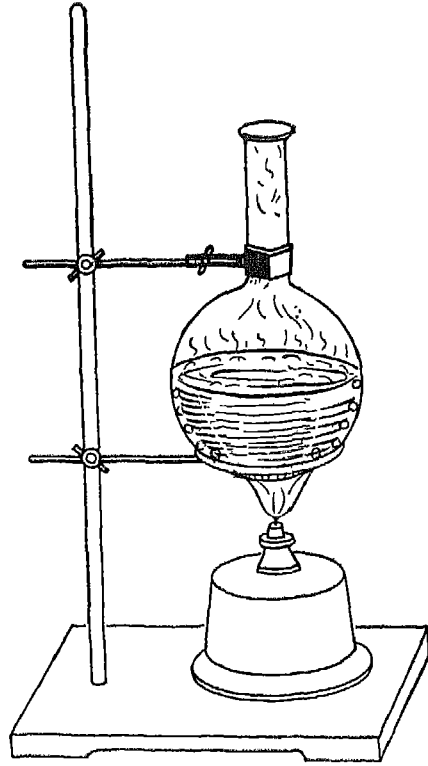
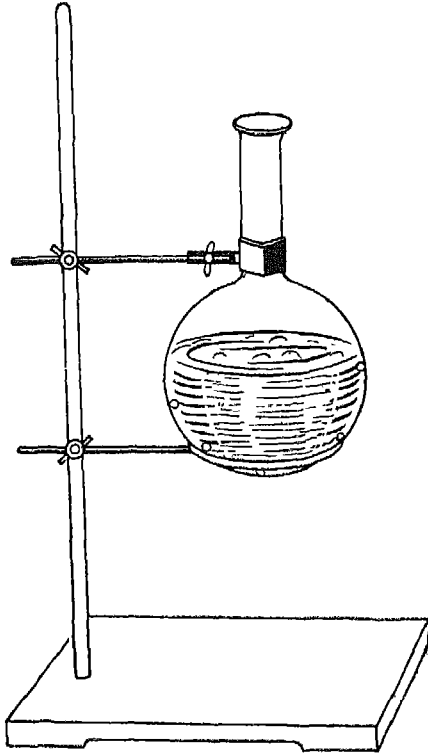
1. यदि तुम्हारे पास कोई ब्लॉटिंग पेपर न हो तो तुम स्याही सुखाने के लिए क्या उपाय करोगे ?
2. शुष्क मौसम में गर्मी को सहन करना आर्द्र मौसम की अपेक्षा अधिक सरल होता है। क्यों ?
3. गर्मियों में मिट्टी के घड़े में पानी ठंडा रहता है। कारण बताओ।
4. जब कोई मनुष्य भीगे हुए कपड़ों को पहन लेता है तब उसे अपना शरीर ठंडा लगता है। क्यों ?
5. वाष्पन से शीतलन होता है। एक प्रयोग की सहायता से इस कथन की पुष्टि करो।
6. भीगा हुआ लिनेन कपड़ा तथा सड़कों की कीचड जाड़े में आर्द्र मौसम की अपेक्षा जल्दी क्यों सूखते हैं ?
7. जब एक आदमी को तेज बुखार होता है तब उसके माथे पर लिनेन को भिगो कर रखते हैं। क्यों ?
8. पसीने से भीगा हुआ प्राणी जब एक पंखे के नीचे बैठता है तब उसे शीतलता का आभास होता है। ठंडा प्रतीत होने का कारण अच्छी तरह समझाओ।
9. नैफ्थेलीन की थोड़ी मात्रा लो तथा इसको पीसो। एक प्लेट में पीसी हुई नैफ्थेलीन रखो और उसे वाष्पित होने के लिए छोड़ दो। प्रयोग की विधि अपनी प्रेक्षण पुस्तक में लिखो तथा यह ज्ञात करो कि इसे वाष्पित होने में कितनी देर लगती है।
10. द्रवण, वाष्पन के विपरीत प्रक्रम है। इस कथन की व्याख्या करो।

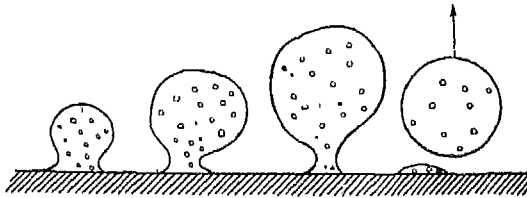
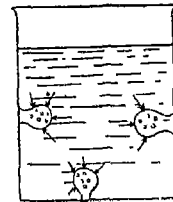
§ 71. क्वथन

तुम पढ़ चुके हो कि पानी का भाप में परिवर्तन दो विधियों से होता है। इनमें से एक विधि का विस्तृत रूप से अध्ययन किया जा चुका है। अब हम भाप के बनने की दूसरी विधि, क्वथन का अध्ययन करेंगे।

पतली दीवार वाला काँच का एक फ्लास्क लो। इसमें थोड़ा ठंडा पानी डालो। इसको गर्म करो। गर्म करने से इसका ताप बढ़ जाता है। ताप बढ़ने पर तुम्हें इस फ्लास्क के पेंदे से हवा के बुलबुले उठते हुए दिखाई देंगे। जैसे-जैसे बर्तन की तली से ये हवा के बुलबुले ऊपर उठते हैं वैसे-वैसे उनका आकार भी धीरे-धीरे बढ़ता जाता है। हवा के इन बुलबुलों का कारण, ठंडे पानी के अंदर घुली हुई हवा है। हवा ठंडे पानी की अपेक्षा गर्म पानी में कम घुलती है (चित्र 69)।

जैसे ही बर्तन की तली में अथवा बर्तन की दीवार के सहारे बुलबुले बनते है वैसे ही वाष्पन प्रक्रम बुलबुलों के चारों ओर के पानी की सतह से होने लगता है। इसलिए बुलबुले में हवा के साथ-

चित्र 6.9 पानी को गर्म करने पर पानी के बर्तन की दीवारों पर हवा के बुलबुले बनते है।

साथ पानी का वाष्प भी होता है और इसका आकार बढता जाता है। बुलबुला बर्तन की दीवार से अलग हो जाता है तथा पानी की ऊपरी सतह की ओर उठने लगता है, जहाँ से वह वायुमंडल मे चला जाता है (चित्र 6.10)।

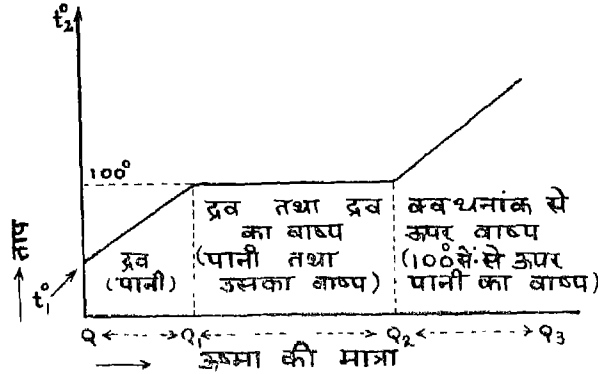
पानी के ताप के बढ़ने के साथ-साथ वाष्पन की दर भी बढ़ती जाती है। फलस्वरूप बुलबुलों के आकार में भी शीघ्रता से वृद्धि होती है। जब पानी का ताप 100° से० हो जाता है तब तली में अथवा दीवार के सहारे बने हुए हवा के बुलबुलों का आकार बहुत तेज़ी से बढ़ जाता है और जब द्रव के वाष्प का दाब, वायुमंडल के दाब के बराबर हो जाता है तब बुलबुलों का बनना बहुत ही प्रवल वेग से शुरू हो जाता है।

चित्र 6.10 दीवार से बुलबुले के अलग होने की क्रिया-विधि ।

6.11 क्वथन की क्रिया-विधि ।

इस प्रकार से भाप बनने का प्रक्रम **क्वथन** कहलाता है (चित्र 6.11)।

क्वथन और वाष्पन में अंतर

1. वाष्पन द्रव की सतह पर से होता है जब कि क्वथन में वाष्प द्रव के अंदर बनता है।
2. वाष्पन प्रत्येक ताप पर होता है जब कि क्वथन, एक निश्चित ताप पर होता है। इस निश्चित ताप को द्रव का क्वथनांक कहते हैं।

होता है तो द्रव के क्वथनांक का अधिक होना स्वाभाविक है।

क्वथन प्रक्रम की अवधि में दी गई ऊष्मा से द्रव की आंतरिक ऊर्जा बढ़ जाती है। क्योंकि इस प्रक्रम में द्रव के ताप में वृद्धि नहीं होती है अतः द्रव के अणुओं की गति में वृद्धि नहीं होती है। दूसरे शब्दों में यह कहा जा सकता है कि द्रव के अणुओं की गतिज ऊर्जा में वृद्धि नहीं होती है। अतः क्वथन प्रक्रम में दी गई ऊष्मा से द्रव के

चित्र 6.12 द्रव को गर्म करने की ऊष्मा और ताप का ग्राफ़।

तुम जानते हो कि जब एक ठोस पिघलता है तब पिघलने के प्रक्रम में उसका ताप स्थिर रहता है। उसी प्रकार जब द्रव उबलता है तब उसका ताप स्थिर रहता है। यह ताप तब तक स्थिर रहता है जब तक कि संपूर्ण द्रव उबल न जाए। अर्थात् क्वथन प्रक्रम में द्रव का ताप स्थिर रहता है जैसा कि चित्र 6.12 के ग्राफ़ से स्पष्ट है।

क्वथन प्रारंभ होने पर द्रव द्वारा प्राप्त ऊर्जा का उपयोग द्रव के अणुओं के बीच परस्पर आकर्षण के प्रभाव को निष्फल करने में होता है। यदि द्रव के अणुओं के बीच आकर्षण बल अधिक

अणुओं की स्थितिज ऊर्जा बढ़ती है। फलतः इस प्रक्रम की अवधि में ताप में वृद्धि नहीं होती है।

कुछ पदार्थों के क्वथनांक सामान्य दाब पर (डि० से० में)

पदार्थ	क्वथनांक	पदार्थ	क्वथनांक
ईथर	35	ऐल्कोहल	78
तांबा	2336	पानी	100
लोहा	3000	ऑक्सीजन	−183
हिलियम	−269	हाइड्रोजन	−253
नाइट्रोजन	−196	द्रव अमोनिया	− 33
पारा	357	सीसा	1620
चाँदी	1950		

§ 72. प्रयोगात्मक कार्य (नं० 8)
पानी के क्वथन प्रक्रम का अध्ययन

उपकरण तथा सामग्री :
स्प्रिट लैंप, पतली दीवारों वाला काँच का गिलास, तापमापी, स्टॉपवाच, स्टैंड आदि।
विधि :

फ्लास्क में पानी लो। पानी का ताप ज्ञात करो। इसको गर्म करो तथा कुछ नियत समय के पश्चात् फिर ताप ज्ञात करो। जब पानी उबलने लगे तब फिर ताप ज्ञात करो। पानी को गर्म करना बंद करो तथा 4 अथवा 5 मिनट बाद तक ताप ज्ञात करो।

पानी के ताप और समय का ग्राफ़ खींचो।

§ 73. वाष्पीकरण तथा द्रवण की ऊष्मा

तुम जानते हो कि जब क्वथनांक पर पानी का क्वथन होता है तब पानी का यह ताप पूरे प्रक्रम में स्थिर रहता है। क्वथन (उबालने) के लिए आवश्यक ऊष्मा ईंधन जलाकर प्राप्त की जाती है। इस ऊष्मा का उपयोग पानी के अणुओं की आंतरिक ऊर्जा के बढ़ाने में होता है। इस ऊष्मा से अणुओं की स्थितिज ऊर्जा में ही वृद्धि होती है। गतिज ऊर्जा में वृद्धि नहीं होती। इसलिए क्वथन प्रक्रम की अवधि मे ताप में अंतर नहीं होता।

तुम जानते हो कि जब एक किलोग्राम ठोस गलनांक पर ठोस अवस्था से द्रव अवस्था में बदलता है तब इस प्रक्रम में आवश्यक ऊष्मा को **गलन ऊष्मा** कहते हैं। इसी प्रकार एक किलोग्राम द्रव को उसके क्वथनांक पर वाष्प में बदलने के लिए आवश्यक ऊष्मा को **वाष्पीकरण की ऊष्मा** कहते है। वाष्पीकरण की ऊष्मा तथा गलन की ऊष्मा की इकाई $\frac{\text{कि० कै०}}{\text{कि० ग्रा०}}$ या $\frac{\text{कै०}}{\text{ग्रा०}}$ भी होती है।

प्रयोगात्मक प्रेक्षणों से यह पता चलता है कि एक ग्राम पानी को क्वथनांक पर वाष्प में बदलने के लिए 540 कैलॉरी ऊष्मा की आवश्यकता होती है।

द्रव के वाष्प में परिणत होते समय उसकी आंतरिक ऊर्जा की वृद्धि की माप वाष्पीकरण की ऊष्मा से होती है। अतः यह स्पष्ट है कि एक ग्राम भाप की 100° से० ताप पर आंतरिक ऊर्जा, उसी ताप पर एक ग्राम पानी की आंतरिक ऊर्जा से 540 कैलॉरी अधिक होती है।

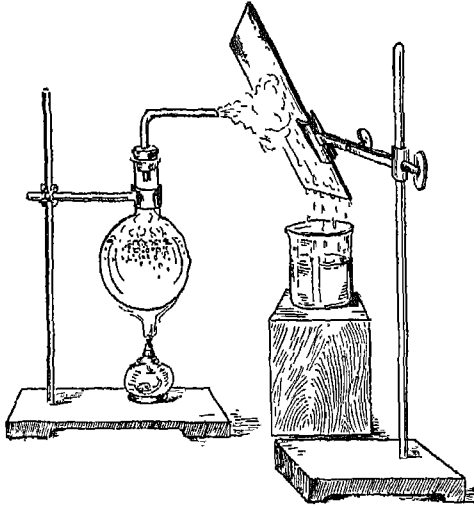
क्वथनांक तथा सामान्य दाब पर कुछ द्रवों के वाष्पीकरण की ऊष्मा :

पानी	$540\frac{\text{कै०}}{\text{ग्रा०}}$
एल्कोहल	$204\frac{\text{कै०}}{\text{ग्रा०}}$
ईथर	$84\frac{\text{कै०}}{\text{ग्रा०}}$

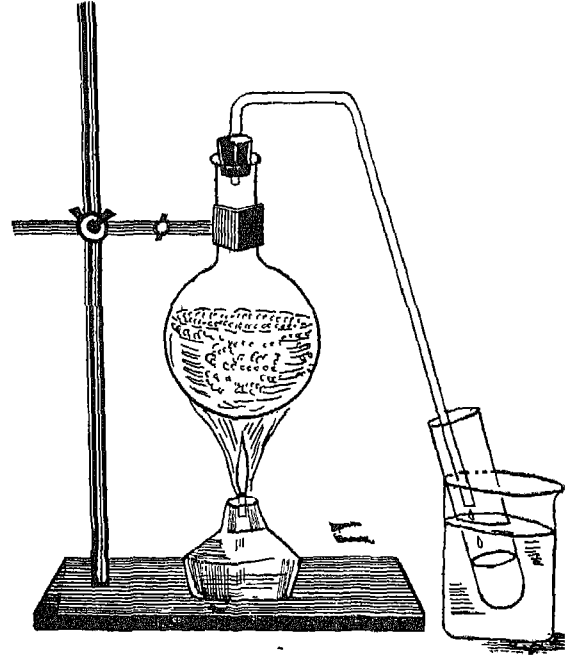
किसी द्रव को उसके क्वथनांक पर वाष्प में बदलने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा q, उस द्रव की संहति m और द्रव की वाष्पीकरण की ऊष्मा L के गुणनफल के समान होती है।

$$q = L \times m$$

अब एक प्रयोग करो। काँच के एक फ्लास्क में पानी लो। फ्लास्क के मुँह में एक डाट, जिसमें काँच

की एक नली (चित्र 6.13) लगी हो, लगाओ। एक स्टैंड में कसकर चित्र की तरह से धातु की पट्टिका लटकाओ। धातु की पट्टी के ठीक नीचे एक बीकर रखो। पानी को खूब गर्म

चित्र 6.13 पानी के वाष्प का धातु की सतह पर द्रवण।

करो। नली में से भाप निकलती है और भाप जब इस पट्टिका के संसर्ग में आती है तब पानी की बूँदों में बदल जाती है अर्थात् भाप पानी में द्रवित हो जाती है। पानी की बूँदें बीकर में एकत्र हो जाती हैं।

चित्र 6.14 की तरह एक उपकरण का प्रबंध करो। काँच का एक फ्लास्क लो। इस फ्लास्क में एक डाट लगाओ। डाट में कोणों पर मुड़ी काँच की एक नली भी लगाओ। काँच की नली की भुजा इतनी लंबी हो कि वह पानी से भरे बीकर में रखी हुई परखनली (टेस्ट ट्यूब) तक पहुँच जाए। प्रयोग करने से पहले बीकर के पानी का ताप ज्ञात करो। फ्लास्क के पानी को उबालो तथा फिर प्रयोग के बाद बीकर में भाप के द्रवित होने के बाद पानी का ताप ज्ञात करो। बीकर

चित्र 6.14 पानी द्वारा ठंडी की गई परख नली मे पानी के वाष्प का द्रवण। वाष्प के द्रवण से बीकर का पानी गर्म हो जाता है।

के पानी का ताप ज्ञात करने पर तुम्हें पानी का ताप अधिक मिलेगा।

इन दोनों प्रयोगों से यह स्पष्ट है कि जब भाप पानी में द्रवित होती है तब ऊर्जा मुक्त होती है, तथा यह भी स्पष्ट है कि भाप में यह ऊष्मा थी। यह वही ऊष्मा है जो पानी ने भाप में बदलते समय (वाष्पीकरण की ऊष्मा) ग्रहण की थी। उपर्युक्त कथन को दूसरे शब्दों में हम इस प्रकार कह सकते है :

एक ग्राम भाप जब क्वथनांक (100° से०) पर पानी में द्रवित होती है तब भाप की आंतरिक ऊर्जा में 540 कैलॉरी की कमी हो जाती है।

केन्द्रीय जल तापन विधि में गर्म पानी के संवहन (ऊष्मा स्थानांतरण की एक विधि) का कैसे उपयोग किया जाता है, यह तुम अध्याय 4 में

पढ़ चुके हो। कभी-कभी केन्द्रीय जल तापन विधि में पानी के स्थान पर नलियों में भाप प्रवाहित करते हैं। भाप विकिरकों से होकर प्रवाहित होती है। भाप के पानी में द्रवित होने पर आवश्यक ऊष्मा प्राप्त हो जाती है जिससे भवन के कमरे गर्म हो जाते हैं।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. भाप की वाष्पीकरण की ऊष्मा 540 $\frac{\text{कै०}}{\text{ग्रा०}}$ है—इससे तुम क्या समझते हो ? उत्तर की पूरी व्याख्या करो।
2. 100° से० की भाप से, 100° से० के पानी की अपेक्षा, अधिक जलन होती है। क्यों ?
3. 50 ग्राम पानी की संहति को 100° से० पर भाप में बदलने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा की गणना करो।
4. द्रव से वाष्प बनने के लिए जितनी ऊष्मा की मात्रा की आवश्यकता होती है उतनी ही ऊष्मा की मात्रा वाष्प से द्रव में बदलने पर मुक्त होती है। इस कथन की पूरी व्याख्या करो।
5. द्रव अमोनिया की द्रवण ऊष्मा 327 $\frac{\text{कै०}}{\text{ग्रा०}}$ है। इस कथन का क्या आशय है ?
6. 100° से० पर एक ग्राम भाप पहले पानी में द्रवित होती है उसके बाद इस पानी को 0° से० तक ठंडा किया जाता है। इस प्रक्रम में मुक्त होने वाली ऊर्जा की गणना करो। इस ऊर्जा को जूल में लिखो।
7. जब पदार्थ द्रव अवस्था से वाष्प में बदलता है तब इसकी आंतरिक ऊर्जा बढ़ जाती है। बताओ, पानी, ऐल्कोहल और ईथर में से कौन-से पदार्थ की आंतरिक ऊर्जा अधिक बढ़ती है।
8. द्रव अमोनिया को वाष्पित करके शीतित्रों में बर्फ़ बनाई जाती है। 20° से० के 10 किलोग्राम पानी को 0° से० की 10 किलोग्राम बर्फ़ बनाने के लिए कितनी द्रव अमोनिया वाष्पित करनी होगी ?
9. आधुनिक वाष्पित्रों में एक घंटे में 2,20,000 कि० ग्रा० भाप अतिरिक्त बनती है। यदि 807 किलो कैलॉरी ऊष्मा खर्च होने पर 1 किलोग्राम भाप बनती है तो एक घंटे में वाष्पित्र कितनी ऊष्मा ग्रहण करता है ?

§ 74. क्वथनांक पर दाब का प्रभाव

समानीत दाब पर क्वथन

पानी के क्वथनांक पर दाब का प्रभाव निम्न-लिखित प्रयोग द्वारा दिखाया जा सकता है। एक फ्लास्क लो। फ्लास्क को पानी से आधा भरो और कुछ समय तक इस पानी को अच्छी तरह से उबालो ताकि फ्लास्क के अंदर की सब हवा निकल जाए। फ्लास्क को गर्म करना बंद करो और पानी के उबलते समय ही फ्लास्क के मुँह में डाट लगाओ। फ्लास्क को उल्टा करके स्टैंड में कसो। इसकी पेंदी पर ठंडा पानी (चित्र 6.15) डालो। ठंडा पानी डालते ही तुम देखोगे कि पानी फिर से उबलने लगता है। इस ठंडे पानी के डालने से फ्लास्क के अंदर का कुछ वाष्प द्रवित हो जाता है जिससे फ्लास्क के अंदर का दाब कम हो जाता है।

चित्र 6.15 कम दाब पर पानी का क्वथन ।

चित्र 6.16 दाब को कम करने से पानी का क्वथन कम ताप पर ही होने लगता है ।

यही तथ्य दूसरे प्रयोग के द्वारा भी दिखाया जा सकता है ।

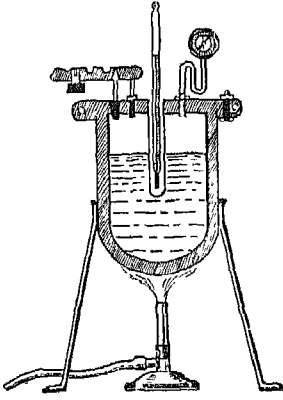
प्रयोग करने के लिए एक गिलास में पानी लो और उबालो । जब पानी का ताप 100° से० हो जाए तब पानी को उबालना बंद कर दो और गिलास को ठंडा होने दो । जैसे ही गिलास के पानी का ताप, 80° से०—70° से० के लगभग हो जाए वैसे ही पानी के गिलास के ऊपर एक बेलजार के रूप का बर्तन (चित्र 6.16) रखो । इस बेलजार का संबंध एक निर्वात पंप से करो। निर्वात पंप की सहायता से बर्तन के अंदर की हवा निकालो । बर्तन के अंदर की हवा का दाब कम होते ही तुम देखोगे कि पानी फिर से उबलने लगता है, अर्थात् समानीत दाब पर पानी का क्वथन होने लगता है ।

उपर्युक्त प्रयोगों से स्पष्ट है कि द्रव का क्वथनांक, द्रव की सतह पर के दाब पर निर्भर है । अधिक ऊँचाई पर जैसे पहाड़ों पर वायुमंडलीय दाब कम होता है । इस कारण पानी कम ताप पर ही (100° से० से कम पर) उबलने लगता है । दार्जिलिंग में पानी 94° से० पर ही उबलने लगता है । भोजन बनाने के लिए पानी का अधिक ताप पर उबलना आवश्यक होता है । क्योंकि कम ताप पर जब पानी उबलने लगता है तब भोजन जल्दी नहीं बनता । यही कारण है कि मैदानों की अपेक्षा पहाड़ों पर भोजन देर में बनता है ।

प्रेशर कुकर में अधिक दाब होने से पानी का क्वथनांक अधिक हो जाता है जिससे भोजन जल्दी बन जाता है ।

दूध का खोया बनाने के लिए दूध को समानीत दाब पर उबाला जाता है । समानीत दाब पर उबालने के सिद्धांत का उपयोग चीनी के शोधन में किया जाता है । चीनी के शोधन के लिए शीरे को समानीत दाब पर उबाला जाता है, क्योंकि कम ताप पर उबालने से चीनी जलती नहीं है ।

उच्च दाब पर क्वथन

जब पानी को किसी बंद बर्तन में गर्म किया जाता है तब बर्तन के अंदर का दाब बढ़ जाता है क्योंकि द्रव के वे अणु, जो वाष्प में बदल जाते हैं, बर्तन के बंद होने से वायुमंडल

6.17 उच्च दाब पर पानी का क्वथन।

में नहीं जा पाते। पानी का क्वथनांक 100° से० नहीं रहता। इस तथ्य का प्रेक्षरण चित्र 6.17 की तरह के उपकरण से किया जा सकता है। इसमें एक धातु का वाष्पित्र (बॉयलर) होता है जिसमें पानी भर लेते हैं। इसमें एक कसा हुआ ढक्कन इस प्रकार लगा होता है कि अंदर की हवा बाहर न जा सके और बाहर की हवा अंदर न आ सके। वाष्पित्र में जो पानी का वाष्प बनता है वह वातावरण में तो जा नहीं सकता इसलिए वाष्पित्र के अंदर दाब बढ़ जाता है। वाष्पित्र के मध्य में पानी के अंदर तल तक जाने वाली धातु की एक नली लगी होती है जिसमें तापमापी रखा जाता है। तापमापी से पानी का ताप ज्ञात कर लेते हैं। वाष्पित्र के अंदर का दाब ज्ञात करने के लिए इसमें एक दाब-गेज जुड़ा होता है। ढक्कन में एक सुरक्षा वाल्व लगा होता है। उत्तोलक के सिरे पर एक भार लटका रहता है जिससे सुरक्षा वाल्व बंद रहता है और सामान्य स्थिति में भाप बाहर नहीं जा पाती। जब वाष्पित्र में भाप का दाब उत्तोलक के दाब से अधिक हो जाता है तब वाल्व खुल जाता है और भाप बाहर निकल जाती है।

जब पानी को इस उपकरण में गर्म किया जाता है तब 100° से० से भी अधिक ताप होने पर पानी नहीं उबलता। जब पानी को अधिक देर तक गर्म करते रहते है तब अधिक भाप के बनने से वाष्पित्र के अंदर दाब बढ़ता जाता है। ज्यों ही यह दाब अधिक होता है त्यों ही वाल्व खुल जाता है और भाप बाहर निकल जाती है जिससे अंदर का दाब कम हो जाता है और द्रव (पानी) उबलने लगता है। तापमापी की माप स्थिर रहती है। यदि उत्तोलक के सिरे पर लटका हुआ भार वाल्व से दूर सरक जाए तो सरक आने से यह वाल्व को ज़्यादा दबाता है और दबे रहने से वाल्व खुलता नहीं है जिससे भाप बाहर नहीं जा सकती। भाप की मात्रा वाष्पित्र के अंदर बढ़ती जाती है जिससे दाब भी बढ़ जाता है और उच्च ताप पर पानी का क्वथन शुरू हो जाता है।

अतः इस प्रयोग से यह सिद्ध होता है कि द्रव का क्वथनांक द्रव की सतह पर दाब के बढ़ने से बढ़ जाता है।

इंजीनियरिंग में उच्च दाब के वाष्पित्रों का अधिक उपयोग होता है। वाष्पित्र इस प्रकार बनाए जाते हैं कि वे अधिक दाब को सहन कर सकें। इस दाब की सीमा से अधिक दाब होने पर सुरक्षा वाल्व खुल जाता है। दाब का परिमाण दाब-गेज पर लिखा होता है और उत्तोलक पर एक लाल निशान लगा होता है।

बीमारियों के कुछ सूक्ष्म जीवाणु 100° से० पर भी नही मरते, इसलिए डॉक्टर लोग शल्य-चिकित्सा में काम आने वाले यंत्रों को उच्च दाबीय वाष्पित्रों में रख कर जीवाणु रहित करते हैं। उच्च दाबीय वाष्पित्रों में पानी का क्वथनांक 100° से० से काफ़ी ऊँचा हो जाता है। अस्पतालों में कपड़ों, पट्टियों और मरीज़ों के बिस्तरों को भाप के द्वारा जीवाणुरहित किया जाता है।

प्रश्न तथा अभ्यास

1. बताओ, पहाड़ों पर खुले बर्तनों में दालें क्यों नहीं गलतीं ।
2. क्या 70° से० पर पानी का क्वथन सभव है ?
   पानी को इस ताप पर उबालने के लिए किसी प्रयोग का वर्णन करो ।
3. पानी के क्वथनांक पर दाब का क्या प्रभाव पड़ता है ? बताओ ।

सारांश तथा निष्कर्ष

(1) प्रकृति में द्रव्य (पदार्थ) तीन अवस्थाओं में होता है :
(अ) ठोस (ब) द्रव, और (स) गैस

(2) किसी पदार्थ की विशेष अवस्था उसके ताप पर निर्भर होती है ।
उदाहरण के लिए —0° से० से नीचे पानी ठोस अवस्था मे होता है । 0° से० से 100° से० के मध्य यह द्रव अवस्था में होता है और 100° से० से ऊपर यह गैसीय अवस्था में होता है ।

(3) ठोस पदार्थो के दो समूह होते हैं :
(अ) क्रिस्टलीय
और
(ब) अक्रिस्टलीय

(4) किसी पदार्थ के उसकी ठोस अवस्था से द्रव अवस्था ग्रहण करने के प्रक्रम को 'गलना' (पिघलना) कहते हैं ।
क्रिस्टलीकरण प्रक्रम, गलन प्रक्रम के विपरीत प्रक्रम है ।

(5) सब क्रिस्टलीय पदार्थ सामान्य वायुमंडलीय दाब पर एक निश्चित ताप पर गलते हैं । यह निश्चित ताप गलनांक कहलाता है ।

(6) सब क्रिस्टलीय पदार्थ सामान्य वायुमंडलीय दाब पर एक निश्चित ताप पर क्रिस्टलीय रूप धारण करते हैं । यह निश्चित ताप क्रिस्टलनांक कहलाता है ।

(7) एक पदार्थ के गलनांक और क्रिस्टलनांक एक ही होते हैं ।

(8) गलन प्रक्रम में ऊष्मा की जितनी मात्रा की आवश्यकता होती है, क्रिस्टलीकरण प्रक्रम में ऊष्मा की उतनी ही मात्रा मुक्त हो जाती है ।

(9) 1 किलोग्राम क्रिस्टलीय पदार्थ को उसके गलनांक पर (उसके ताप में बिना परिवर्तन हुए) द्रव अवस्था में बदलने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा को गलन ऊष्मा कहते हैं ।

(10) गलन ऊष्मा की माप, किलो कैलॉरी/किलोग्राम अथवा कैलारी/ग्राम में, व्यक्त की जाती है ।

(11) किसी पदार्थ की एक निश्चित मात्रा को पूरी तरह से गलाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा (q) की गणना निम्नलिखित सूत्र से की जाती है :
$$q = L \times m$$
जहाँ L गलन ऊष्मा और m संहति है ।

(12) एक निश्चित ताप (क्रिस्टलनांक) पर क्रिस्टलीकरण प्रक्रम में 1 किलोग्राम पदार्थ द्वारा मुक्त की जाने वाली ऊष्मा की मात्रा को क्रिस्टलीकरण ऊष्मा कहते हैं।

(13) एक पदार्थ की गलन ऊष्मा और क्रिस्टलीकरण ऊष्मा समान होती है।

(14) किस्टलीकरण प्रक्रम में द्रव द्वारा मुक्त की जाने वाली ऊष्मा की मात्रा की गणना निम्नलिखित सूत्र से की जाती है :

$$q = L \times m$$

जहाँ L किस्टलीकरण ऊष्मा और m संहति है।

(15) "पदार्थ के क्रिस्टलीय अवस्था से उसके ताप मे बिना परिवर्तन हुए द्रव अवस्था में परिवर्तित होने के लिए ऊष्मा की कुछ मात्रा की आवश्यकता होती है," इस तथ्य से प्रतीत होता है कि उसी ताप पर पदार्थ की क्रिस्टल अवस्था से द्रव अवस्था में अधिक ऊर्जा होती है।

(16) वाष्पीकरण प्रक्रम दो प्रकार से होता है :

(अ) वाष्पन

और

(ब) क्वथन

(17) वाष्पन : वह वाष्पीकरण प्रक्रम है जो केवल द्रव की सतह से ही हर ताप पर होता रहता है।

(18) वाष्पन प्रक्रम की दर निम्नलिखित पर निर्भर करती है :

(अ) द्रव के ताप पर

(ब) द्रव की सतह के क्षेत्रफल पर

(स) द्रव के गुण पर

तथा

(द) द्रव की सतह के ऊपर वायु की गति पर।

(19) वाष्पन के कारण, वाष्पित होने वाले द्रव के ताप में कमी हो जाती है।

(20) वाष्पन प्रक्रम के विपरीत प्रक्रम को द्रवण (वाष्प अवस्था से द्रव अवस्था मे परिवर्तन) प्रक्रम कहते है।

द्रवण प्रक्रम में ऊष्मा की उतनी ही मात्रा मुक्त हो जाती है, जितनी कि वाष्पन प्रक्रम में ग्रहण की जाती है।

(21) सामान्य वायुमंडलीय दाब और एक निश्चित ताप पर किसी द्रव द्वारा वाष्प अवस्था ग्रहण करने के प्रक्रम को क्वथन कहते हैं। यह निश्चित ताप द्रव का क्वथनांक कहलाता है। क्वथन प्रक्रम पूरे द्रव में होता है।

(22) 1 किलोग्राम द्रव को उसके क्वथनांक पर वाष्प अवस्था में बदलने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा को वाष्पीकरण ऊष्मा कहते है। वाष्पीकरण ऊष्मा कि० कै०/कि० ग्रा० में अथवा कै०/ग्रा० में व्यक्त की जाती है।

(23) किसी द्रव की एक निश्चित मात्रा को उसके क्वथनांक पर वाष्प अवस्था में बदलने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा (q) की गणना निम्नलिखित सूत्र से की जाती है :

$$q = L \times m$$

जहाँ L द्रव की वाष्पीकरण ऊष्मा तथा m संहति है।

(24) "किसी द्रव को उसके ताप में परिवर्तन किए बिना ही क्वथनांक पर वाष्प अवस्था में बदलने के लिए ऊष्मा की कुछ मात्रा की आवश्यकता होती है," इस तथ्य से प्रतीत होता है कि किसी पदार्थ की 1 ग्राम वाष्प में, उसी ताप (क्वथनांक) के उसी पदार्थ के 1 ग्राम द्रव से, आंतरिक ऊर्जा अधिक होती है।

(25) द्रव का क्वथनांक उसकी सतह पर पड़ने वाले दाब पर निर्भर करता है। द्रव के सतह पर दाब के बढ़ने से क्वथनांक बढ़ जाता है और दाब के कम होने से क्वथनांक कम हो जाता है।

पारिभाषिक शब्दकोश

अंतर्दाही इंजन	Internal combustion engin
अक्रिस्टल	Amorphous
अवतल	Concave
अवयव	Component
अवरोध बल	Resisting force
अश्व शक्ति	Horse power
असंतुलित बल	Non-balancing force
असमान	Non-uniform
आंतरिक	Internal
आरंभ घर्षण	Starting friction
आलब	Fulcrum
ईंधन	Fuel
उत्तल	Convex
उत्तोलक	Lever
उदगम	Source
ऊर्जा	Energy
ऊष्मा	Heat
ऊष्मीय घटनाएँ	Thermal phenomena
ऊष्मीय प्रसरण	Thermal expansion
एक समान	Uniform
औसत चाल	Average speed
कचा	Marble (छोटी गोली)
कर्षक वल	Traction force
कार्य	Work
कुचालक	Bad conductor
क्रिया	Action
क्रियाविधि	Mechanism
क्रिस्टलन (क्रिस्टलीकरण)	Crystallization
क्रिस्टलनांक	Point of crystallization
केन्द्रीय जल तापन	Central water heating
केशनली	Capillary tube
क्वथन	Boiling
क्वथनित्र	Boiler
क्षैतिज	Horizontal
गति	Motion
गतिज	Kinetic
गमनपथ	Trajectory of motion
गलन	Fusion
गलना	Melting
गलनांक	Melting point
गलनीय तार	Fuse wire
गुरुत्व केन्द्र	Centre of gravity
घर्षण	Friction
घर्षण गुणाक	Coefficient of friction
घर्षण बल	Force of friction
घिरनी	Pulley
घिरनी धानी	Block of pulley
घूर्णन गति	Rotary motion
घूर्णन चाल	Rotational speed
घूर्णाक्ष	Axis of rotation
चाल	Speed
चालन	Conduction
चालमापी	Speedometer
चूल	Pivot
जड़त्व	Inertia
जीवाणुनाशन (जीवाणुरहित)	Sterilization
ढलान	Ramp
ताप	Temperature
तापक	Heater
तापदर्शी	Thermoscope
तापमापी	Thermometer
तापीय प्रसरण	Thermal expansion
दंड	Shaft
दक्षता	Efficiency
दहन	Combustion

दोलन	Oscillation
द्रवण	Liquefaction (Condensation)
द्रवणाक	Liquefaction point
धारक	Holder
नत समतल	Inclined plane
नियंत्रक चक्र	Controlling wheel
निरापद लैप	Safety lamp
परिणामित बल	Resultant force
परिणामी बल	Resultant force
परिपथ	Circuit
पिघलना	Melting
प्रक्रम	Process
प्रतिक्रिया	Reaction
प्रसार (प्रसरण)	Expansion
बल घूर्ण	Moment of a force
बेलन चर्खी	Wind-lass
मिश्र धातु	Alloy
मेखला	Belt
यान्त्रिकी	Mechanics
रूपांतर	Transformation
लुंठन घर्षण	Rolling friction
लोटसिक घर्षण	Rolling friction
वायु प्रवाह	Draught
वाष्पन	Evaporation
वाष्पांक	Steam point
वाष्पित्र	Boiler
वाष्पीकरण	Vaporization
विकिरण	Radiation
विराम अवस्था	State of rest
विशिष्ट ऊष्मा	Specific heat
विषम	Irregular
विसरण	Diffussion
विस्थापन	Displacement
शक्ति	Power
शीतलन	Cooling
संक्रमण	Transition
सचरण	Transmission
सँडसी	Nipper
संतुलित बल	Balancing forces
सपीड़ित	Compressed
संयोजन	Composition
सरक्षण	Conservation
संवहन	Convection
सपाट	Flat
सब्बलबारी	Crow-bar
सम	Regular
समानीत दाब	Reduced pressure
सरल लोलक	Simple pendulum
सर्पी घर्षण	Sliding friction
साम्य-अवस्था	Equilibrium
सीढ़ियाँ	Gangway
सुई धारक	Needdle holder
सुचालक	Good conductor
सूक्ष्मदर्शी	Microscope
स्थानांतरण	Transfer
स्थानांतरीय गति	Translatory motion
स्थितिज	Potential
स्थैतिक घर्षण	Static friction
स्नेहक	Lubrication
हथकल	Spanner
हिमतूल	Snow-flake
हिमाक	Freezing point